



DE3742402

Biblio

Desc

Claims

Page 1


Drawing



## Method and device for inert-gas welding

Patent Number: DE3742402  
Publication date: 1989-07-06  
Inventor(s): LANGENBAHN HANS WILHELM (DE)  
Applicant(s): LANGENBAHN HANS WILHELM (DE)  
Requested Patent: ☐ DE3742402  
Application Number: DE19873742402 19871215  
Priority Number(s): DE19873742402 19871215  
IPC Classification: B23K9/09 ; B23K9/16 ; B23K35/38  
EC Classification: B23K9/09B2  
Equivalents:

### Abstract

The invention relates to a method for inert-gas welding using a metal-wire electrode which is tracked. This is periodically supplied with electrical welding energy from an energy source. Five welding parameters, and namely in particular the wire advance speed, the basic current or the basic voltage, the pulse current or the pulse voltage, the basic time as well as the pulse time can be predefined. The harmonisation of these welding parameters was in the past very difficult and was subject to the subjective process evaluation of the operating personnel. In order to avoid these difficulties and in order to control and to define the nature of the material transfer, a mathematical determination of the process parameters with quality preselection is proposed. The dependence of the pulse energy on the overall energy per period for the respective welding wire/protective gas combination is calculated. After predefined the weld seam form, the desired welding speed as well as the desired welding result, the pulse current or the pulse voltage, the basic current or the basic voltage, the pulse time, the basic time as well as the wire advance speed are determined. 

Data supplied from the esp@cenet database - I2

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

⑤9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑪ DE 37 42 402 A 1

⑳ Aktenzeichen: P 37 42 402.5  
㉑ Anmeldetag: 15. 12. 87  
㉒ Offenlegungstag: 6. 7. 89

⑤1 Int. Cl. 4:  
B 23 K 9/09  
B 23 K 9/16  
B 23 K 35/38

DE 37 42 402 A 1

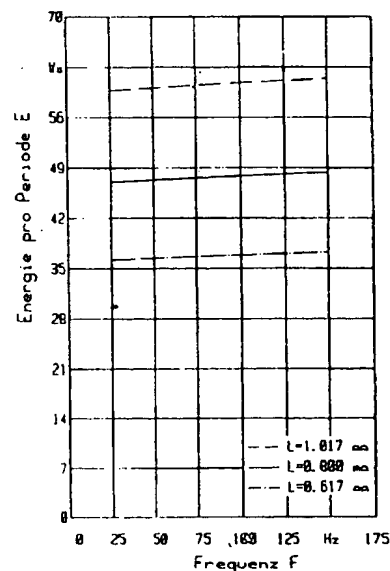
㉑ Anmelder:  
Langenbahn, Hans Willi, Dr.-Ing., 7800 Freiburg, DE  
  
㉒ Vertreter:  
Ratzel, G., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 6800  
Mannheim

㉓ Erfinder:  
gleich Anmelder

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zum Schutzgasschweißen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Schutzgas-schweißen unter Verwendung einer nachgeführten Metall-drahtelektrode. Dieser wird aus einer Energiequelle elektri-sche Schweißenergie periodisch zugeführt. Fünf Schweiß-parameter, und zwar insbesondere die Drahtvorschub-geschwindigkeit, der Grundstrom bzw. die Grundspannung, der Pulsstrom bzw. die Pulsspannung, die Grundzeit sowie die Pulszeit sind vorgebbar. Die Abstimmung dieser Schweißparameter war in der Vergangenheit sehr schwierig und unterlag der subjektiven Prozeßeinschätzung des Be-dienungspersonals. Um diese Schwierigkeiten zu vermeiden und um die Art des Werkstoffüberganges zu steuern und zu definieren wird eine mathematische Bestimmung der Pro-zeßparameter mit Qualitätsvorherwahl vorgeschlagen. Es wird die Abhängigkeit der Pulsenergie von der Gesamtener-gie pro Periode für die jeweilige Schweißdraht-Schutzgas-Kombination ermittelt. Nach Vorgabe der Schweißnaht-form, der gewünschten Schweißgeschwindigkeit sowie des gewünschten Schweißergebnisses werden der Pulsstrom bzw. die Pulsspannung, der Grundstrom bzw. die Grund-spannung, die Pulszeit, die Grundzeit sowie die Drahtvor-schubgeschwindigkeit bestimmt.

Fig. 3



Erforderliche Gesamtenergie in Abhängigkeit der abge-schmolzenen Drahtlänge pro Periode für einen Werkstoff-übergang mit 1 Tropfen pro Puls  
(konstante Parameter: Schutzgas M 11,  $t_p = 2$  ms,  
 $t_g = 10$  ms)

DE 37 42 402 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Schutzgasschweißen gemäß den im Oberbegriff des Patentanspruchs angegebenen Merkmalen. Ferner bezieht sich die Erfindung auf eine Vorrichtung zur Durchführung des angegebenen Verfahrens.

Aus der Druckschrift "Schweißen und Schneiden" 1981, Heft 10, Seiten 523—527 ist ein Verfahren zur Steuerung des Schweißlichtbogens bekannt, das in Verbindung mit einer transistorisierten Stromquelle mit zweistufiger, statischer Kennlinie zum Einsatz gelangt. Die Stromquelle liefert die elektrische Schweißenergie, wobei der als Draht ausgebildete Schweißelektrode zugeführte Strom zwischen einem niedrigen Grundstrom und einem höheren Pulsstrom umgeschaltet wird. Aufgrund der zweistufigen, statischen Kennlinie wird in einem ersten Bereich eine hohe Spannung zu einer niedrigen Stromstärke und in einem zweiten Bereich eine niedrigere Spannung einer hohen Stromstärke zugeordnet. Mittels der vorgeschlagenen Steuerung soll ein stabiler, spritzfreier Metall-Schutzgas-Impulslichtbogen bei gleichmäßigem Tropfenübergang erzielt werden können. Die schaltungstechnische Realisierung der genannten Kennlinie erfordert einen vergleichsweise großen Aufwand mit einer Anzahl von Stellgliedern einschließlich Analogschalter sowie Verstärkern. Auch erfordert die Einstellung der zweistufigen Kennlinie über die Stellglieder einen entsprechenden Aufwand und setzt besondere Kenntnisse des Bedienungspersonals voraus.

Ferner sind aus der DE-PS 32 19 726 ein Verfahren und eine Einrichtung zum Metall-Lichtbogenschweißen bekannt, wobei das Umschalten vom Pulsstrom auf den Grundstrom in Abhängigkeit der Lichtbogenspannung erfolgt. Erreicht die Lichtbogenspannung einen oberen Referenzwert, so wird die Energiequelle auf den Grundstrom geschaltet, während beim Erreichen einer vorgebbaren unteren Referenzspannung auf den Pulsstrom umgeschaltet wird. Zwischen dem Lichtbogen und der Stromquelle ist ein geschlossener Regelkreis vorhanden, so daß unabhängig von festen Taktzeiten oder dergl. der Schweißstrom bzw. der Pulsstrom immer dann eingeleitet wird, wenn eine Anforderung aufgrund der reduzierten Lichtbogenspannung erfolgt. Die Einstellung der einzelnen Prozeßparameter, und zwar insbesondere Grundstrom und Pulsstrom erfordert jedoch auch hier besondere Kenntnisse seitens des Bedienungspersonals, wobei auch insoweit eine subjektive Einschätzung der Prozeßstabilität das Schweißergebnis maßgeblich beeinflusst.

Bei den genannten sowie bei anderen heute üblichen Schweißverfahren ist die Bedienung bzw. das Einstellen der zum Einsatz gelangten Vorrichtungen in der Praxis im Hinblick auf die subjektive Beurteilung durch das Schweißpersonal immer noch mit Problemen behaftet. Hinzu kommt, daß die physikalischen Abhängigkeiten der fünf Schweißparameter, Drahtvorschubgeschwindigkeit, Grundstrom, Pulsstrom, Grundzeit sowie Pulszeit untereinander und vor allem deren Einfluß auf das Schweißergebnis nicht bekannt ist. Ferner führen während des Schweißens äußere Bedingungen, und zwar insbesondere Kontaktrohrabstand, Nahtgeometrie infolge von Toleranzen und ferner Wärmeableitung zu Prozeßinstabilitäten. Auch wenn diese durch die vorbekannten Verfahren reduziert werden, so muß gleichwohl eine praktisch nicht vorherbestimmbare Änderung des Schweißergebnisses in Kauf genommen werden.

Durch Konstanthalten einzelner Einstellgrößen, zumeist Grundstromstärke, Impulsstromstärke und Pulszeit in Abhängigkeit der verwendeten Schutzgase und Drahtwerkstoffe, und einer Kopplung der Drahtvorschubgeschwindigkeit mit der Grundzeit können zwar in der Regel kurzschlußfreie Prozesse erzielt werden, so daß ein spritzerarmes Schweißen über einen größeren Leistungsbereich möglich wird. Die Wahl der Einstellgrößen ist gleichwohl von der subjektiven Einschätzung des Bedienungspersonals bezüglich der Prozeßstabilität abhängig. Ferner ist eine Korrektur der Daten bei Änderung der Schweißleistung oder bei veränderten Randbedingungen mittels Korrekturknopf oder dergl. erforderlich. Die Art des Werkstoffüberganges ist weder gesteuert, d. h. die Anzahl der pro Puls übergelender Tropfen ist nicht festgelegt, noch ist sie definiert, also das pro Puls abgeschmolzene Werkstoffvolumen kann nicht vorgewählt werden.

Schweißverfahren mit vorprogrammierten Einstelldaten beinhalten gleichfalls die aufgezeigten Nachteile, da auch hierbei die subjektive Prozeßeinschätzung der Programmierer zum Tragen kommt. Außerdem muß eine Anpassung der Prozeßgrößen an veränderte Schweißaufgabe und Randbedingungen, durch Eingabe von entsprechenden Korrekturwerten erfolgen. Schließlich sind die derzeit bekannten Rechenkonzepte zur mathematischen Bestimmung der Schweißparameter nur zu einer groben Abschätzung der Einstellwerte, und zwar in einem kleinen Leistungsbereich geeignet, wobei jedoch das Schweißergebnis nicht berücksichtigt wird. Prozeßregelungen, welche auf eine Veränderung äußerer Bedingungen selbsttätig reagieren, wie z. B. durch Regelung von Zeitparametern, führen zwangsläufig bei einer eingestellten Drahtvorschubgeschwindigkeit dazu, daß in der Puls- sowie Grundphase unterschiedliche Energie eingebracht wird. Es wird zwar ein kurzschlußfreier Werkstoffübergang ermöglicht, doch es erfolgt keine Steuerung dahingehend, daß die Tropfenzahl pro Puls festgelegt werden könnte. Des weiteren ist der Werkstoffübergang auch nicht in dem Sinne definiert, daß das pro Puls abgeschmolzene Werkstoffvolumen vorgewählt werden könnte.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, das Verfahren der eingangs genannten Art dahingehend auszubilden, daß die aufgezeigten Nachteile vermieden werden. Es soll ein gesteuerter und/oder definierter Werkstoffübergang gewährleistet werden, der für die Reproduzierbarkeit einer gewünschten, vorwählbaren Schweißqualität gefordert wird. Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt gemäß dem in Kennzeichen des Patentanspruchs 1 angegebenen Merkmalen.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zu Grunde, daß die zum Erschmelzen einer bestimmten Drahtlänge erforderliche spezifische Energie  $K$  für eine bestimmte Gasart bei gegebener Impulsfrequenz konstant ist. Die spezifische Energie ist hierbei definiert als der Quotient aus der Energie pro Periode durch die aufgeschmolzene Drahtlänge  $L$  pro Periode. Die aufgeschmolzene Drahtlänge  $L$  entspricht dem Drahtvorschub  $vD$  dividiert durch die Frequenz  $F$ . Ferner wurde erkannt, daß bei einer Variation des Abschmelzvolumens die genannte spezifische Energie  $K$  gleichfalls konstant bleibt. Aufgrund höherer Strahlungsverluste bei zunehmender Frequenz ergibt

sich eine Verschlechterung des Wirkungsgrades des Impulsprozesses, so daß im Rahmen dieser Erfindung in Abhängigkeit der Impulsfrequenz eine größere Gesamtmenge pro Periode zum Ablösen eines konstanten Drahtvolumens zur Verfügung gestellt wird. Hierbei ist die Gesamtenergie die Summe der in der Pulsphase sowie der Grundphase umgesetzten Energie. Bei Variation der Pulszeit oder des aufzuschmelzenden Drahtvolumens pro Periode wird die Pulsenergie den veränderten Bedingungen angepaßt.

Die zur Durchführung des Verfahrens vorgesehene Vorrichtung enthält Schweißstromquellen bekannter Bauart, wobei sekundär getaktete Quellen ebenso wie analoge Quellen oder primär getaktete Quellen in Frage kommen. Die erfindungsgemäß ermittelte Kennlinie der Gesamtenergie und Funktion der Pulsenergie von der Gesamtenergie werden gespeichert und in einem Rechner werden die fünf Einstellgrößen berechnet. Auch die Faktoren der Lichtbogenkennlinie werden gespeichert und im Rechner bei der Berechnung der Einstellgrößen berücksichtigt. Mittels einer Eingabeeinheit können die jeweils erforderlichen Vorgaben ebenso eingegeben werden, wie die genannten Faktoren der Lichtbogenkennlinie und/oder die ermittelte Funktion der Pulsenergie in Abhängigkeit der Gesamtenergie. Zweckmäßig wird im Rahmen der Erfindung am Ende eines Pulses eine kurzzeitige Stromerhöhung im Mikrosekundenbereich durchgeführt, um eine Verbesserung der Reproduzierbarkeit des Tropfenablösepunktes zu erhalten.

Da äußere Störungen die Energiebilanz beeinflussen und somit das Schweißergebnis ändern, erfolgt nach dem Prozeßstart aufgrund der erfindungsgemäß bestimmten fünf Einstellgrößen eine äußere Regelung von bevorzugt zwei dieser Einstellgrößen. Hierdurch werden die Einbrandform, die chemische Analyse sowie die Spritzerverluste konstant gehalten. Hierzu können im Rahmen der Erfindung verschiedene Regelverfahren realisiert werden, um einen definierten, gesteuerten Werkstoffübergang auch bei äußeren Störungen zu gewährleisten. Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, die Gesamtenergie pro Periode und/oder die Pulsenergie bzw. die Grundenergie als Sollgröße vorzugeben und nach dem Start entweder die Stellgrößen *IP* und *IG* oder die Stellgröße *IG* oder die Stellgröße *IP* zu steuern. Ferner kann es zweckmäßig sein, nach dem Start die mittlere Gesamtleistung pro Periode und/oder die mittlere Pulsleistung vorzugeben und unter Berücksichtigung der Pulszeit und der Grundzeit entweder *IP* und *IG*, oder *IG* oder *IP* zu steuern. In weiteren zweckmäßigen Ausgestaltungen werden jeweils unter Berücksichtigung der Pulszeit sowie der Grundzeit entweder *IP* und *IG* bei Vorgabe von *UP* und *UG* gesteuert oder die Größe *IP* bei Vorgabe von *UP* oder die Größe *IG* bei Vorgabe von *UG* gesteuert. Gemäß einer anderen zweckmäßigen Ausgestaltung erfolgt nach dem Start die Regelung der Pulszeit und der Grundzeit entweder bei Vorgabe der Gesamtenergie pro Periode und/oder der Puls- bzw. der Grundenergie oder bei Vorgabe der mittleren Leistung pro Periode und/oder der mittleren Puls- bzw. Grundleistung oder bei Vorgabe der mittleren Spannung pro Periode und/oder der mittleren Puls- bzw. Grundspannung.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine Tabelle mit den Daten einiger Schweißversuche,

Fig. 2 ein Diagramm der Gesamtenergie pro Periode in Abhängigkeit der Impulsfrequenz,

Fig. 3 ein Diagramm der Gesamtenergie für unterschiedliche abgeschmolzene Drahtlängen,

Fig. 4 ein Diagramm der Energieeinbringung während der Puls- und Grundphase,

Fig. 5 ein Diagramm der in der Pulsphase erforderlichen Energie in Abhängigkeit der Gesamtenergie pro Periode,

Fig. 6 ein Diagramm zum Einfluß der Werkstoffübergangsart,

Fig. 7 ein Diagramm zum Einfluß der aufzuschmelzenden Drahtlänge pro Periode auf die Energie der Pulsphase,

Fig. 8 ein Diagramm zum Einfluß der Pulszeit auf die während der Pulsphase erforderlichen Energie,

Fig. 9 ein Diagramm mit errechneten und in Schweißversuche ermittelten elektrischen Parametern für Grundstrom und Impulsstrom,

Fig. 10 Diagramme zur rechnerisch ermittelten Abhängigkeit der Schweißparameter,

Fig. 11 ein Blockschaltbild einer Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

In der Tabelle gemäß Fig. 1 sind die Daten verschiedener Schweißversuche mit den Nummern 1 bis 7 enthalten. Die in der Tabelle enthaltenen Größen haben nachstehende Bedeutung:

A Rechenfaktor in Volt

B Rechenfaktor in Volt pro Ampere

E Energieeinbringung in Wattsekunden

ED im freien Drahtende umgesetzte Energie

EG Energieeinbringung in der Grundphase

EGD im freien Drahtende umgesetzte Energie während der Grundphase

EP Energieeinbringung in der Pulsphase

EPD im freien Drahtende umgesetzte Energie während der Pulsphase

EL im Lichtbogen umgesetzte Energie

F Impulsfrequenz in Hertz

IGR Grundstrom idealisiert rechteckförmig

IPR Impulsstrom idealisiert rechteckförmig

K spezifische Energie pro aufgeschmolzene Drahtlänge in mm

ID freie Drahtlänge

Ik Abstand Kontaktrohr-Werkstück

IL Lichtbogenlänge

RD Widerstand des freien Drahtendes

tG Grundzeit

tP Impulszeit

UGR Grundspannung idealisiert rechteckförmig  
 UPR Impulsspannung idealisiert rechteckförmig  
 $vD$  Drahtvorschubgeschwindigkeit

5 Bekanntlich werden für den Schutz des Schweißbades vor der Atmosphäre und zur Lichtbogenausbildung Gase wie Argon, Kohlendioxid, Helium oder Mischgase, teilweise mit geringen Zusätzen von Sauerstoff verwendet. Nach DIN 32 526 werden die verschiedenen Gasarten Normbezeichnungen zugeordnet. Für die aufgeführten Schweißversuche gelangte das Schutzgas M 1 i zur Anwendung, wobei der Abstand  $IK$  zwischen Kontaktrohr und Werkstück 16 mm betrug. Das Impulslichtbogenschweißen wurde mit einem Werkstoffübergang von einem Tropfen pro Puls durchgeführt, wobei mittels der Energiequelle eine Strom-Strom Modulation erfolgte.

10 Als wesentliches Ergebnis kann der Tabelle entnommen werden, daß die pro Puls zum Aufschmelzen einer definierten Drahtlänge notwendige Energie bei einer vorgegebenen Impulsfrequenz konstant und unabhängig von der Art des Werkstoffüberganges oder der gewählten Pulszeit ist; auf die Versuche mit den Nummern 1, 3, 4 wird verwiesen. Darüber hinaus zeigt die Tabelle, daß bei Variation des Abschmelzvolumens die spezifische Energie  $K$  ebenfalls konstant bleibt, wobei insbesondere auf die Nr. 1 und 2 verwiesen wird. Diese Angaben gelten für eine bestimmte Kombination von Draht und Schutzgas. Der Einfluß des Schutzgases auf die spezifische Energie wird maßgeblich beeinflußt durch das Ionisationspotential sowie die Wärmeleitfähigkeit. Im Rahmen der Erfindung wird für die jeweilige Draht-Schutzgas-Kombination durch Schweißversuche die benötigte spezifische Schweißenergie pro Periode empirisch festgelegt. Um die nachfolgend zu erläuternde Frequenzabhängigkeit hierbei zu erfassen, werden für eine bestimmte Draht-Schutzgas-Kombination zweckmäßig wenigstens zwei oder auch mehr Schweißversuche bei unterschiedlichen Frequenzen durchgeführt. Die hierbei ermittelten Werte werden erfindungsgemäß der Bestimmung der Schweißparameter zugrunde gelegt.

20 Das in Fig. 2 dargestellte Diagramm zeigt die gesamte Energie, die pro Periode eingebracht wird, in Abhängigkeit der Impulsfrequenz. Wiederum wird von einem Werkstoffübergang mit einem einzigen Tropfen pro Puls ausgegangen.

25 Aus Fig. 3 ist die erforderliche Gesamtenergie für drei Werte der aufgeschmolzenen Drahtlänge  $L$  pro Periode dargestellt. Ebenso wie den Schweißversuchen Nr. 1, 2 aus Fig. 1 ist diesem Diagramm zu entnehmen, daß die als Quotient der Gesamtenergie  $E$  durch die aufgeschmolzene Drahtlänge  $L$  definierte spezifische Energie  $K$  konstant ist. Diese erfindungsgemäß aufgefundenen Zusammenhänge bilden die Grundlage für die mathematische Bestimmung der einzustellenden Schweißparameter.

30 In Fig. 4 ist der wesentliche Zusammenhang zwischen der Gesamtenergie pro Periode  $E$  und der Pulsenergie  $EP$  dargestellt. Es wird der Werkstoffübergang eines einzigen Tropfens pro Puls vorausgesetzt. Die mit zunehmender Frequenz erhöhten Strahlungsverluste bringen eine Verschlechterung des Wirkungsgrades, so daß eine größere Gesamtenergie pro Periode zum Ablösen eines konstanten Drahtvolumens, hier des genannten einzigen Tropfens, vorgenommen wird. Im Rahmen der Erfindung wird eine Ablösung des genannten Tropfens mit konstantem Durchmesser erreicht, wenn die Energieeinbringung in der Pulsphase mit zunehmender Frequenz vergrößert wird. Eine Reduzierung der Grundzeit erfordert hierbei eine Erhöhung des Grundstromes, wodurch ein Anstieg des Plasmadruckes im Lichtbogen und höhere Plasmageschwindigkeiten bedingt sind. Größere Rückstoßkräfte auf den sich bildenden Tropfen sind die Folge. Im Rahmen dieser Erfindung wird durch höhere elektromagnetische Kräfte bzw. Lorenzkräfte, die als Pinchkräfte bezeichnet werden, dieser Effekt ausgeglichen, so daß eine Tropfenablösung mit gleicher Tropfenübergangsgeschwindigkeit erreicht wird.

35 Das Diagramm gemäß Fig. 5 zeigt die Abhängigkeit der in der Pulsphase erforderlichen Energie  $EP$  in Abhängigkeit von der Gesamtenergie pro Periode  $E$ . Wesentlich ist, daß bei einer bestimmten Gas-Draht-Kombination die spezifische Gesamtenergie nur von der Impulsfrequenz beeinflusst wird. Aufgrund dieses wesentlichen Zusammenhanges, kann daher für einen gesteuerten definierten Werkstoffübergang die Energieeinbringung in der Pulsphase als Funktion der Gesamtenergie pro Periode dargestellt werden. Wesentlich ist, daß sich die Energieeinbringung in den einzelnen Phasen der Gesamtperiodendauer in Abhängigkeit der Impulsfrequenz bei Variation der aufzuschmelzenden Drahtlänge, des Werkstoffüberganges und der Pulszeit immer um konstante Faktoren verändert. Ausgehend von der ermittelten Abhängigkeit  $EP = f(E)$  wird somit im Rahmen dieser Erfindung nach Bestimmung dieser konstanten Werte die Pulsenergie für den gesamten Leistungsbereich (Frequenzbereich) mathematisch bestimmt.

40 Aus Fig. 6 ergibt sich der Einfluß der Art des Werkstoffüberganges auf die während der Pulsphase erforderliche Energie  $EP$  in Abhängigkeit der Impulsfrequenz  $F$ . Durch das Verhältnis der Pulsenergie zur Grundenergie wird die Art des Werkstoffüberganges bestimmt. Die mittlere, durchgezogene Linie zeigt die Energie  $EP$  für einen Tropfen und entspricht der strichpunktierten Linie in Fig. 4. Hiervon ausgehend ist festzustellen, daß bei einer Vergrößerung des Quotienten  $EP/EG$  pro Periode mehrere Tropfen abgeschmolzen werden.

45 Aus der Fig. 7 ergibt sich der Einfluß der aufzuschmelzenden Drahtlänge pro Periode auf die während der Pulsphase erforderliche Energie, und zwar wiederum für den Fall des Werkstoffüberganges mit einem einzigen Tropfen pro Puls. Es darf angemerkt werden, daß wie auch bei den vorangegangenen Diagrammen, das Schutzgas M 11, eine Pulszeit  $tP$  von 2 ms sowie in Kontaktrohrabstand  $IK$  von 16 mm zugrunde gelegt sind. Es ist ersichtlich, daß bei Ablösung eines Tropfens mit einem größeren Volumen pro Puls eine Steigerung der Puls- und Grundenergie erforderlich ist; für die Gesamtenergie pro Periode gilt die eingangs erläuterte Bedingung  $K = E/L = \text{konstant}$ . Bei Variation der Pulszeit müssen die Impulsströme diesen Zeiten angepaßt werden. Eine Verringerung der Pulszeit bedingt zwar eine Erhöhung des Impulsstromes, der jedoch einen kritischen Betrag nicht überschreiten kann, da ansonsten aufgrund sehr hoher Beschleunigungskräfte (Pinchkräfte) die Tropfenübergangsgeschwindigkeit zu groß wird und Materialverluste aus dem Schmelzbad auftreten. Einer Reduzierung des Impulsstromes bei Verlängerung der Impulszeit sind gleichfalls Grenzen gesetzt, da eine ausreichende Pinchkraft während der Pulsphase zur Ablösung des Werkstoffes erforderlich ist.

Wie aus Fig. 8 ersichtlich, erfolgt die Variation der Pulszeit mit einer daraus resultierenden Veränderung der Puls- bzw. Grundenergie in relativ kleinen Bereichen, damit ein gesteuerter Werkstoffübergang gewährleistet wird.

Um eine Berechnung der Einstellparameter der Energiequelle vornehmen zu können, werden zunächst Versuche zur Ermittlung von Rechenfaktoren durchgeführt. Im Rahmen der Erfindung werden mit Hilfe von insbesondere drei Schweißversuchen für die jeweils gewählte Schutzgas-Drahtwerkstoff-Kombination sowie eine definierte aufzuschmelzende Drahtlänge die erforderliche Gesamtenergie in Abhängigkeit der Impulsfrequenz ermittelt. Wie oben anhand von Fig. 1 dargelegt, ist die pro Periode benötigte Energie unabhängig von der Art des Werkstoffüberganges sowie der Pulszeit für eine gegebene Frequenz konstant. Die spezifische Energie  $K$  wird berechnet durch die Bildung des Quotienten der Gesamtenergie  $E$  durch die aufgeschmolzene Drahtlänge  $L$  pro Periode. Ferner werden im Rahmen der Erfindung weitere, und zwar insbesondere drei, Versuche durchgeführt, wobei die Art des Werkstoffübergangs anhand von Hochgeschwindigkeitsfilmaufnahmen überprüft werden kann, um die in der Pulsphase erforderliche Energie  $EP$  zu ermitteln; diese Zusammenhänge sind bereits oben anhand von Fig. 4 dargelegt worden. Bei Variation der aufzuschmelzenden Drahtlänge, der Werkstoffübergangsart oder der Pulszeit zur gezielten Beeinflussung der Schweißnahtqualität werden zusätzlich durch je eine Schweißung die Pulsenergien bestimmt.

Anhand eines Beispiels soll nachfolgend für ein hochargonhaltiges Material mit 1% Sauerstoff (O<sub>2</sub>) und ein Schutzgasdraht von Typ SG 3 mit einem Durchmesser von 1,2 mm die mathematische Ermittlung der Einstelldaten als Funktion der Impulsfrequenz erläutert werden. Der Werkstoffübergang soll in Form eines Tropfens pro Puls mit einem Durchmesser von 1,2 mm erfolgen. Die Impulszeit  $tP$  (erste Einstellgröße) wird auf 2 ms festgelegt. Hieraus berechnet sich die Grundzeit (zweite Einstellgröße) wie folgt:

$$tG = 1/F - tP.$$

Die empirisch ermittelte Gesamtenergie pro Periode setzt sich, wie anhand von Fig. 1 erläutert wurde, aus der Puls- und Grundenergie zusammen. Unter Berücksichtigung des erfindungsgemäß aufgefundenen und oben erläuterten Zusammenhanges, demgemäß die spezifische Energie  $K$  konstant ist, gilt folgende Gleichung:

$$K \times vD/F = UPR \times IPR \times tP + UGR \times IGR \times tG$$

Diese Gleichung beinhaltet neben den fünf Prozeßparametern zwei abhängige elektrische Größen. Je nach Kennlinienmodulation müssen diese Parameter in Abhängigkeit der einzustellenden Werte formuliert werden. Dies erfolgt mit Hilfe der mathematischen Erfassung der Lichtbogenkennlinie. Es gilt:

$$U = A + B \times I.$$

Bei einer grafischen Bestimmung der Faktoren  $A$ ,  $B$  ist zu berücksichtigen, daß durch ein induktives Verhalten des Lichtbogens bei den für diese Untersuchungen relevanten Pulsfrequenzen der zeitliche Verlauf des Schweißstromes der Schweißspannung nacheilt, woraus sich im Strom-Spannungsdiagramm die Form einer Ellipse ergibt. Durch definierte Phasenverschiebung der Meßgrößen kann diese Ellipse durch eine Näherungsgerade beschrieben werden. Der Phasenverschiebungswinkel ist frequenzabhängig und beträgt bei Frequenzen zwischen 100 und 150 Hertz etwa 10°. Es wurde im Rahmen dieser Erfindung festgestellt, daß die genannten Faktoren  $A$  und  $B$  für eine vorgegebene Schutzgasart und für einen bestimmten Schweißdrahttyp mit definiertem Durchmesser unabhängig von der Pulsfrequenz, der Werkstoffübergangsart der aufgeschmolzenen Drahtlänge pro Periode sowie der Impulszeit konstant sind. Diese für die Bestimmung des Grundstromes und des Impulsstromes maßgebenden Faktoren  $A$  und  $B$  werden der jeweiligen Schweißdraht-Schutzgaskombination zugeordnet. Diese Faktoren nehmen zweckmäßig folgende Werte an:

$$A = 13 \text{ bis } 22 \text{ Volt}$$

$$B = 0,03 \text{ bis } 0,09 \text{ Volt/Ampere.}$$

Wie oben, vor allem in Verbindung mit Fig. 5 dargelegt, wird die Pulsenergie als Funktion der Frequenz durch eine Versuchsschweißung ermittelt. Der rechteckförmige Impulsstrom  $IPR$  berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$IPR = \frac{-A}{2 \times B} + \sqrt{\left(\frac{A}{2 \times B}\right)^2 + \frac{EP}{B \times tP}} \quad (I)$$

Auch der Grundstrom wird unter Zugrundelegung der Pulsenergie für eine bestimmte Frequenz ermittelt und es gilt die Gleichung:

$$IGR = \frac{-A}{2 \times B} + \sqrt{\left(\frac{A}{2 \times B}\right)^2 + \frac{E - EP}{B \times tP}} \quad (II)$$

In Fig. 9 ist der Verlauf der beiden Schweißparameter Pulsstrom *IPR* und Grundstrom *IGR* in Abhängigkeit der Pulsfrequenz dargestellt. Es ist zu erkennen, daß die errechneten Kurvenverläufe mit den empirisch ermittelten Werten übereinstimmen. Es sei angemerkt, daß in den vorstehend genannten Gleichungen die idealisierten rechteckförmigen Kurven von Pulsstrom und Grundform vorausgesetzt sind. In den entsprechenden Gleichungen des Patentanspruchs 1 sind hingegen die tatsächlichen Kurvenformen zugrundegelegt, wobei lediglich entsprechend der jeweiligen Stromquelle eine Umrechnung bzw. Normierung zu erfolgen hat. Aufgrund der erfindungsgemäß aufgezeigten Zusammenhänge werden mittels Rechner die Prozeßgrößen für einen gesteuerten Werkstoffübergang, also Anzahl der Tropfen pro Puls sowie für einen definierten Werkstoffübergang, also Größe des aufgeschmolzenen Volumens, über der Frequenz (Schweißleistung) bestimmt.

In Fig. 10 ist der Zusammenhang einer gewünschten mittleren Stromstärke mit den Schweißparametern beispielsweise für den Werkstoffübergang in Form eines einzigen Tropfens pro Puls dargestellt. Der sich ergebende Leistungsbereich beinhaltet mittlere Stromstärkewerte, die denen der Kurzlichtbogen- und Sprühlichtbogentechnik beim herkömmlichen Metall-Schutzgasschweißen entsprechen. Alle unabhängigen Prozeßgrößen stellen sich als Funktion der Impulsfrequenz dar. Bei Vorgabe einer für eine bestimmte Schweißaufgabe erforderlichen mittleren Stromstärke oder alternativ der Drahtvorschubgeschwindigkeit ist im Rahmen dieser Erfindung die Kombination der Schweißparameter festgelegt.

Fig. 11 zeigt eine beispielhafte Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens enthaltend eine bekannte sekundär getaktete Energie- bzw. Stromquelle. Die Stromquelle enthält einen Transformator 2, einen Gleichrichter 4 und eine Steuereinheit 6, welche zur Vorgabe des Stromes bevorzugt Halbleiterelemente in Form von Transistoren oder Thyristoren aufweist. Der Steuereinheit sind eine Freilaufdiode 8 und eine Glättungsdrossel 10 nachgeschaltet, wobei in bekannter Weise elektrische Anschlüsse für den Draht 12 der Schweißelektrode sowie das Werkstück 14 vorhanden sind. Mittels geeigneten Gebern werden die Ist-Werte für die Spannung *U<sub>ist</sub>* den Schweißstrom *I<sub>ist</sub>* erfaßt und einem Regler 16 zugeführt. Dem elektronischen Regler 16 werden ferner die Soll-Werte für Spannung und Strom *U<sub>soll</sub>* sowie *I<sub>soll</sub>* zugeführt, wobei in Abhängigkeit der Differenz aus Soll-Werten und Ist-Werten vom Regler 16 die Steuereinheit 6 beaufschlagt wird.

Es ist ferner eine Speichereinheit 18 für die empirisch ermittelten Abhängigkeiten der Gesamtenergie *E* von der Frequenz und/oder der Pulsenergie *EP* in Abhängigkeit der Gesamtenergie vorhanden. Im Rahmen der Erfindung sind in der Speichereinheit 18 die genannten Abhängigkeiten für eine Anzahl von ausgewählten Gas-Draht-Kombinationen eingegeben. Ferner ist eine Speichereinheit 20 für die Faktoren *A* und *B* der Lichtbogenkennlinien der vorgewählten Gas-Draht-Kombinationen eingegeben. Mittels einer Eingabeeinheit 22 können die genannten Abhängigkeiten bzw. Kennlinien sowie Faktoren eingegeben werden. Im Rahmen dieser Erfindung können die Eingaben werksseitig für die üblichen Schutzgas-Draht-Kombinationen eingegeben sein oder alternativ kann die Eingabe vorort anhand von Kennlinien für die jeweilige Kombination eingegeben werden. Sind in den Speichereinheiten 18, 20 die Werte gespeichert, so genügt im Rahmen der Erfindung mittels der Eingabeeinheit, beispielsweise durch Betätigung entsprechender Tasten, aus den Speichereinheiten 18, 20 die jeweils gewünschten Kennlinien und Faktoren abzufragen und mittels des nachgeschalteten Rechners 24 die fünf Einstellgrößen, nämlich Drahtvorschubgeschwindigkeit, Pulszeit, Grundzeit, Pulsstrom (oder Pulsspannung) sowie Grundstrom (oder Grundspannung) zu berechnen. Ferner werden im Rahmen der Erfindung mittels der Eingabeeinheit die Vorgaben für die jeweilige Schweißung eingegeben, welche im Rechner 24 zur Auswertung der genannten Gleichungen benötigt werden. Abgesehen zu den Angaben betreffend die vorgewählte Gas-Draht-Kombination, wobei der Werkstoff des Schweißdrahtes, die Art des Schutzgases sowie das Material und der Durchmesser des Schweißdrahtes enthalten sind wird die gewünschte Schweißgeschwindigkeit *v<sub>S</sub>* sowie die Art der herzustellenden Naht und damit die Querschnittsfläche des Schweißgutes eingegeben. Schließlich wird die herzustellende Qualität bzw. das Schweißergebnis, beispielsweise spritzerfrei oder geringer Einbrand eingegeben. Mittels des Rechners erfolgt dann die mathematische Auswertung und Bestimmung der Prozeßparameter, die dem Regler 16 zugeführt werden. Aufgrund der erfindungsgemäßen Ausgestaltung wird ein gesteuerter Werkstoffübergang gewährleistet, bei welchem die pro Puls übergehende Anzahl von Tropfen eingehalten wird. Ferner erfolgt ein definierter Werkstoffübergang derart, daß das pro Puls abgeschmolzene Werkstoffvolumen vorgewählt und eingehalten wird. Hierdurch wird ein bestimmter Grad an Spritzerverlusten, die chemische Analyse des Schweißgutes und die Nahtgeometrie der Schweißung definiert gewährleistet.

Anhand der beiden nachfolgenden Beispiele soll die Vorgehensweise der mathematischen Prozeßparameterbestimmung mit Qualitätsvorherwahl erläutert werden.

Erstes Beispiel: es wird von folgenden Vorgaben bzw. folgender Problemstellung ausgegangen:

1. Kehlnaht, a-Maß 4 mm (Abstand der Ecke zur Oberfläche)
2. Werkstoff St 37-2, 10 mm dick
3. gewünschte Schweißgeschwindigkeit  $v_S = 50$  cm/min
4. Schutzgas 99% Argon und 1% Sauerstoff (O<sub>2</sub>)
5. Draht SG 3, Drahtdurchmesser  $d_D = 1,2$  mm
6. Schweißergebnis: spritzerfrei

Die mathematische Bestimmung der Einstellgrößen erfolgt entsprechend den nachstehenden Schritten

1. Einstellgröße Drahtvorschubgeschwindigkeit *v<sub>D</sub>*: Aus den Vorgaben 1, 3 und 5 ergibt sich in kg pro Stunde eine Abschmelzleistung
- $$Lab = 0,462 \times a^2 \times v_S = 3,7$$
- wobei die Schweißgeschwindigkeit *v<sub>S</sub>* in Meter/Minute eingesetzt wird. Es errechnet sich die Drahtvorschubgeschwindigkeit zu
- $$v_D = 1,27 \times a^2 \times v_S / d_D^2 = 7 \text{ m/min.}$$



2. Einstellgröße Pulszeit  $tP$ :

Aus der Vorgabe 5 ergibt sich

$$tP = 2 \text{ ms.}$$

3. Einstellgröße Grundzeit  $tG$ :

Aus der Vorgabe 6 ergibt sich für einen Werkstoffübergang mit nur einem Tropfen pro Puls bei einem Tropfendurchmesser von 1,2 mm und einer Drahtlänge  $L$  pro Puls von 0,8 mm eine Frequenz von

$$F = vD \times 25/dD.$$

Hieraus errechnet sich:

$$tG = (40 \times dD/vD) - tP = 4,86 \text{ ms.}$$

4. Einstellgröße  $IP$  (bzw.  $UP$ ):

Aus den Vorgaben 2, 4, 5 ergibt sich die Gesamtenergie  $E$  pro Periode sowie aus der ermittelten Kennlinie für die genannte Frequenz die Pulsenergie  $EP$ .

Für die Gesamtleistung pro Periode  $E$  wurde folgende Funktion ermittelt:

$$E = 34,519 + 2,975 \times 1 \text{ nF} = 44 \text{ Js.}$$

Für die Pulsenergie  $EP$  wurde die Funktion ermittelt:

$$EP = 1,474 + 4,61 \times 1 \text{ nF} = 24 \text{ Js.}$$

Für die Faktoren der Lichtbogenkennlinie gelten folgende Werte:

$$A = 14 \text{ Volt}$$

$$B = 0,05 \text{ V/A}$$

Der Pulsstrom wird entsprechend der im Anspruch 1 angegebenen Gleichung berechnet. Der Faktor 1000 ist notwendig, da die Pulsenergie in Js und die Pulszeit in Millisekunden angegeben wird. Selbstverständlich kann dieser Faktor entfallen, wenn jeweils in Sekunden bzw. in Millisekunden die entsprechenden Werte eingesetzt werden. Diese Feststellung gilt auch für die Gleichung des Grundstromes. Mit anderen Worten, der Faktor 1000 in den Gleichungen des Anspruchs 1 entfällt, wenn jeweils die gleichen Dimensionen eingesetzt werden.

$$IP = 370 \text{ A}$$

Fünfte Einstellgröße  $IG$  (bzw.  $UG$ ):

Auch diese berechnet sich entsprechend dem Anspruch 1 bzw. der oben aufgeführten Gleichung II zu:

$$IG = 179 \text{ A}$$

Zweites Beispiel; es soll eine Auftragsschweißung vorgenommen werden, für welche ein geringerer Einbrand wie im ersten Beispiel gefordert wird. Die anderen Vorgaben werden beibehalten. Die mathematische Bestimmung der Prozeßparameter erfolgt in den nachstehenden Schritten:

1. Einstellgröße Drahtvorschubgeschwindigkeit  $vD$ :

$$Lab = 0,462 \times A \times vs = 3,7 \text{ kg/h}$$

$$vD = 2,75 \times Lab/dD = 7 \text{ m/min.}$$

2. Einstellgröße Pulszeit  $tP$ :

entsprechend Beispiel 1 ergibt sich

$$tP = 2 \text{ ms.}$$

3. Einstellgröße  $tG$ :

auch hier gilt wie im Beispiel 1

$$tG = 1000/F - tP = 4,8 \text{ ms}$$

4. + 5. Einstellgrößen Pulsstrom  $IP$  und Grundstrom  $IG$ :

da als sechste Vorgabe nunmehr als Qualität ein geringer Einbrand gefordert wird, gilt:

$$EP = -1,026 + 4,61 \times 1 \text{ nF}$$

Die Faktoren  $A$  und  $B$  stimmen mit denen aus dem Beispiel 1 überein. Die Berechnung der vierten Einstellgröße liefert für  $IP$  folglich einen geringeren Wert und für die fünfte Einstellgröße  $IG$  ersichtlich einen erhöhten Wert, da die Gesamtenergie pro Periode  $E$  entsprechend dem ersten Beispiel beibehalten wird.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Schutzgasschweißen unter Verwendung einer nachgeführten Drahtelektrode, welcher aus einer Energiequelle elektrische Schweißenergie gepulst zuführbar ist, wobei eine Anzahl von Prozeßparametern, insbesondere Drahtvorschubgeschwindigkeit ( $vD$ ), Grundstrom ( $IG$ ) bzw. Grundspannung ( $UG$ ), Pulsstrom ( $IP$ ) bzw. Pulsspannung ( $UP$ ), Grundzeit ( $tG$ ), sowie Pulszeit ( $tP$ ) vorgebar sind, dadurch gekennzeichnet,

daß für eine gegebene Schweißdraht-Schutzgas-Kombination die Abhängigkeit der Pulsenergie ( $EP$ ) von der Gesamtenergie pro Periode ( $E$ ) bestimmt wird, daß unter Berücksichtigung von Vorgabe zur Art der Schweißnaht und/oder der Schweißgeschwindigkeit für die genannte Schweißdraht-Schutzgas-Kombination die Einstellgröße Drahtvorschubgeschwindigkeit ( $vD$ ), und/oder die Pulszeit ( $tP$ ) und/oder die Grundzeit ( $tG$ ) bestimmt werden,

und daß unter Berücksichtigung der Vorgabe des Schweißergebnisses, insbesondere spritzerfrei oder geringer Einbrand beim Auftragsschweißen, als Einstellgröße der Pulsstrom ( $IP$ ) und der Grundstrom ( $IG$ )

der entsprechend die Pulsspannung ( $UP$ ) und die Grundspannung ( $UG$ ) oder der Pulsstrom ( $IP$ ) und die Grundspannung ( $UG$ ) oder die Pulsspannung ( $UP$ ) und der Grundstrom ( $IG$ ) berechnet werden, und zwar nach den folgenden Gleichungen:

$$IP = \frac{-A}{2 \times B} + \sqrt{\left(\frac{A}{2 \times B}\right)^2 + \frac{EP}{B \times IP}} \cdot 1000$$

$$IG = \frac{-A}{2 \times B} + \sqrt{\left(\frac{A}{2 \times B}\right)^2 + \frac{E - EP}{B \times IG}} \cdot 1000$$

wobei die Faktoren  $A$  und  $B$  aus der linearisierten Lichtbogenkennlinie bestimmt werden, gemäß der Gleichung:

$$U = A + B \times I.$$

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Faktoren  $A$  und  $B$ , insbesondere unter Berücksichtigung der jeweiligen Schweißdraht-Schutzgas-Kombination, in nachstehenden Bereichen vorgegeben werden:

$A = 13$  bis  $22$  Volt  
 $B = 0,03$  bis  $0,09$  V/A.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Bestimmung der Gesamtenergie pro Periode ( $E$ ) und/oder der Pulsenergie ( $EP$ ) empirisch für wenigstens eine definierte Art des Werkstoffüberganges, und zwar bevorzugt mit einem einzigen Tropfen pro Puls, erfolgt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Bestimmung der Gesamtenergie und/oder der Pulsenergie und/oder der Faktoren  $A$  und  $B$  für wenigstens einen definierten Kontaktrohr-Werkstückabstand ( $IK$ ) vorgenommen wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß für eine Anzahl unterschiedlicher Schweißdraht-Schutzgas-Kombinationen jeweils die Gesamtenergie pro Periode ( $E$ ), die Pulsenergie ( $EP$ ) und die Faktoren  $A$ ,  $B$  erfaßt werden und für die Bestimmung der Einstellgrößen bereitgehalten werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Start des Schweißvorganges mit den definierten Einstellgrößen durch eine äußere Regelung wenigstens einer dieser Einstellgrößen gesteuert wird um den Einfluß von äußeren Störungen auf die Energiebilanz auszuregeln.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Start bei Vorgabe der Gesamtenergie pro Periode ( $E$ ) und der Pulsenergie ( $EP$ ) bzw. der Grundenergie ( $EG$ ) als Sollgrößen eine Regelung mittels der Stellgrößen Pulsstrom ( $IP$ ) und Grundstrom ( $IG$ ) oder bei Vorgabe der Gesamtenergie pro Periode ( $E$ ) oder der Pulsenergie ( $EP$ ) als Sollgröße eine Regelung mittels der Stellgröße Pulsstrom ( $IP$ ) oder bei Vorgabe der Gesamtenergie pro Periode ( $E$ ) oder der Grundenergie ( $EG$ ) als Sollgröße eine Regelung mittels der Stellgröße Grundstrom ( $IG$ ) erfolgt.

8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Start bei Vorgabe der mittleren Leistung pro Periode und der mittleren Leistung in der Pulsphase bzw. in der Grundphase als Sollgrößen unter Berücksichtigung der Pulszeit sowie der Grundzeit eine Regelung mittels der Stellgrößen Pulsstrom und Grundstrom oder bei Vorgabe der mittleren Leistung pro Periode oder der in der Pulsphase als Sollgröße eine Regelung mittels der Stellgröße Pulsstrom oder bei Vorgabe der mittleren Leistung pro Periode oder der in der Grundphase als Sollgröße eine Regelung mittels der Stellgröße Grundstrom erfolgt.

9. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Start bei Vorgabe der mittleren Pulsspannung und Grundspannung als Sollgrößen unter Berücksichtigung der Puls- und Grundzeit eine Regelung mittels der Stellgrößen Pulsstrom und Grundstrom oder bei Vorgabe der mittleren Pulsspannung als Sollgröße eine Regelung mittels der Stellgröße Pulsstrom oder bei Vorgabe der mittleren Grundspannung als Sollgröße eine Regelung mittels der Stellgröße Grundstrom erfolgt.

10. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Start bei Vorgabe der Gesamtenergie pro Periode ( $E$ ) und der Puls- bzw. der Grundenergie, oder bei Vorgabe der mittleren Leistung pro Periode und der mittleren Puls- bzw. der Grundleistung, oder bei Vorgabe der mittleren Spannung pro Periode und der mittleren Puls- bzw. Grundspannung als Sollgrößen eine Regelung mittels der Stellgrößen Pulszeit und Grundzeit, oder bei Vorgabe der Gesamtenergie pro Periode oder der Pulsenergie oder bei Vorgabe der mittleren Leistung pro Periode oder der mittleren Pulsleistung oder bei Vorgabe der mittleren Spannung pro Periode oder der Pulsspannung als Sollgrößen eine Regelung mittels der Stellgröße Pulszeit oder bei Vorgabe der Gesamtenergie pro Periode oder der Grundenergie oder bei Vorgabe der mittleren Leistung pro Periode oder der mittleren Grundleistung oder bei Vorgabe der mittleren Spannung pro Periode oder der Grundspannung als Sollgrößen eine Regelung mittels der Stellgröße Grundzeit erfolgt.

11. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Start bei Vorgabe der Gesamtenergie pro Periode und/oder der Pulsenergie bzw. der Grundenergie als Sollgrößen oder bei Vorgabe der mittleren Leistung pro Periode und/oder der mittleren Puls- bzw. Grundleistung als Sollgrößen oder bei Vorgabe der mittleren Spannung pro Periode und/oder der mittleren Puls- bzw. Grundspannung als Sollgrößen oder bei Vorgabe des mittleren Stromes pro Periode und/oder des mittleren Puls- bzw. Grund-

stromes als Sollgrößen eine Regelung mittels der Stellgröße Drahtvorschubgeschwindigkeit erfolgt.

12. Verfahren nach Anspruch 1—11, dadurch gekennzeichnet, daß am Ende eines Pulses eine kurzzeitige Stromerhöhung im Mikrosekundenbereich durchgeführt wird, um eine Verbesserung der Reproduzierbarkeit des Tropfenablösepunktes zu bewirken.

13. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß eine Speichereinheit (18) für die ermittelte Abhängigkeit der Pulsenergie von der Gesamtenergie für wenigstens eine, zweckmäßig eine Anzahl verschiedener Schutzgas-Draht-Kombination vorgesehen ist, daß der Speichereinheit (18) ein Rechner (24) zugeordnet ist, mittels welchem die Einstellgrößen entsprechend den zugeordneten Gleichungen berechnet werden, wobei mittels einer Eingabeeinheit (22) die Vorgaben zur Schutzgas-Schweißdraht-Kombination, der Nahtform, der Schweißgeschwindigkeit sowie der geforderten Qualität eingebbar sind. 5 10

14. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß eine Speichereinheit (20) für die Faktoren A und B der Lichtbogenkennlinie wenigstens einer Schutzgas-Schweißdraht-Kombination gespeichert ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 10 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß mittels der Eingabeeinheit (22) die jeweils gewünschte Schutzgas-Schweißdraht-Kombination vorwählbar ist, um aus der Speichereinheit (18) und/oder der Speichereinheit (20) die jeweiligen Werte abzurufen und dem Rechner (24) zuzuführen. 15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

3742402

Fig. 1

Nummer:  
Int. Cl.4:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

37 42 402  
B 23 K 9/09  
15. Dezemb r 1987  
6. Juli 1989

30

Schweißdaten:

Nr.	F	U <sub>PR</sub>	U <sub>GR</sub>	I <sub>PR</sub>	I <sub>GR</sub>	t <sub>P</sub>	v <sub>D</sub>	l <sub>K</sub>	l <sub>D</sub>	l <sub>L</sub>
	Hz	V	V	A	A	ms	m/min	mm	mm	mm
1	100	31,7	22,5	346	144	2,0	4,8	16	11,9	4,1
2	100	32,5	24,6	362	189	2,0	6,1	16	12,0	4,0
3	100	33,5	21,8	383	128	2,0	4,8	16	12,1	3,9
4	100	34,5	22,4	407	141	1,5	4,8	16	12,0	4,0
5	25	29,2	17,9	292	44	2,0	1,2	16	11,8	4,2
6	50	30,1	19,6	311	81	2,0	2,4	16	12,1	3,9
7	150	33,2	24,9	379	199	2,0	7,2	16	11,8	4,2

Errechnete Größen:

Nr.	L	R <sub>D</sub>	E <sub>PD</sub>	E <sub>GD</sub>	E <sub>D</sub>	E <sub>P</sub>	E <sub>G</sub>	E	K	A	B
	mm	mΩ	Ws	Ws	Ws	Ws	Ws	Ws	J/mm	V	V/A
1	0,8	9,29	2,22	1,54	3,76	21,94	25,92	47,86	59,83	15,96	0,0455
2	1,017	9,37	2,46	2,68	5,14	23,53	37,2	60,73	59,71	15,96	0,0457
3	0,8	9,45	2,77	1,24	4,01	25,66	22,32	47,98	59,98	15,92	0,0459
4	0,8	9,37	2,34	1,58	3,92	21,06	26,85	47,91	59,89	15,98	0,0455
5	0,8	9,22	1,57	0,68	2,25	17,05	29,93	46,98	58,73	15,88	0,0456
6	0,8	9,45	1,82	1,12	2,94	18,72	28,58	47,3	59,13	15,89	0,0457
7	0,8	9,22	2,65	1,71	4,36	25,17	23,18	48,35	60,44	15,73	0,0461

mit:

$$\begin{aligned}
 R_D &= 7,81 \cdot 10^{-4} \cdot l_D \\
 E_{PD} &= I_{PR}^2 \cdot R_D \cdot t_P \\
 E_{GD} &= I_{GR}^2 \cdot R_D \cdot t_G \\
 E_D &= E_{PD} + E_{GD} \\
 E &= E_D + E_L
 \end{aligned}$$

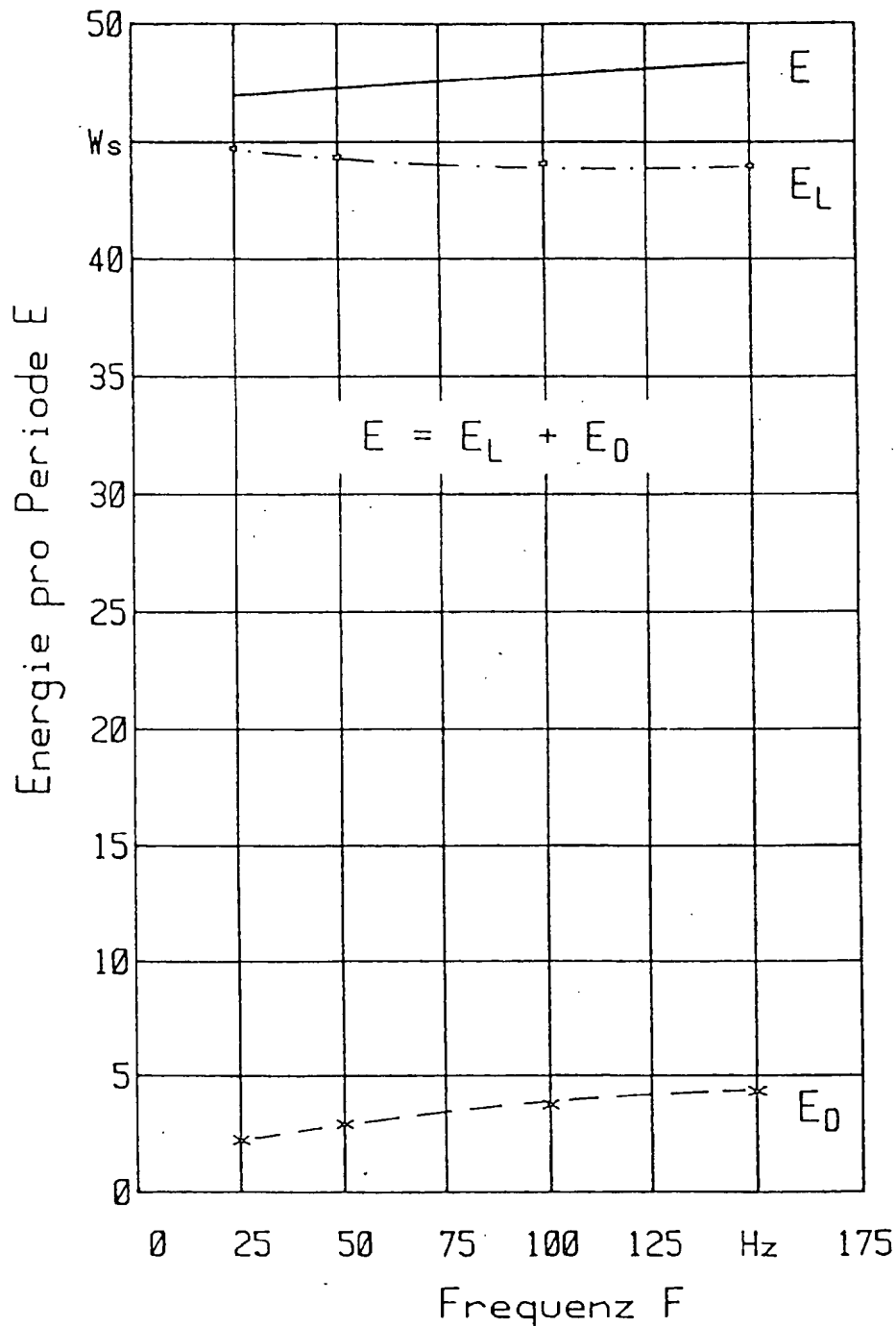
$$\begin{aligned}
 E_P &= U_{PR} \cdot I_{PR} \cdot t_P \\
 E_G &= U_{GR} \cdot I_{GR} \cdot t_G \\
 E &= E_P + E_G \\
 K &= E/L \\
 L &= v_D / F
 \end{aligned}$$

Betrachtung der Energieeinbringung beim Impulslichtbogenschweißen mit  
einem 1 Tropfen-pro-Puls-Werkstoffübergang  
(konstante Parameter: Schutzgas M 11, l<sub>K</sub> = 16 mm, I-I Modulation)

Fig. 2

3742402

31



Im Lichtbogen und freien Drahtende umgesetzte elektrische Energie pro Periode in Abhängigkeit der Impulsfrequenz für einen Werkstoffübergang mit 1 Tropfen-pro-Puls

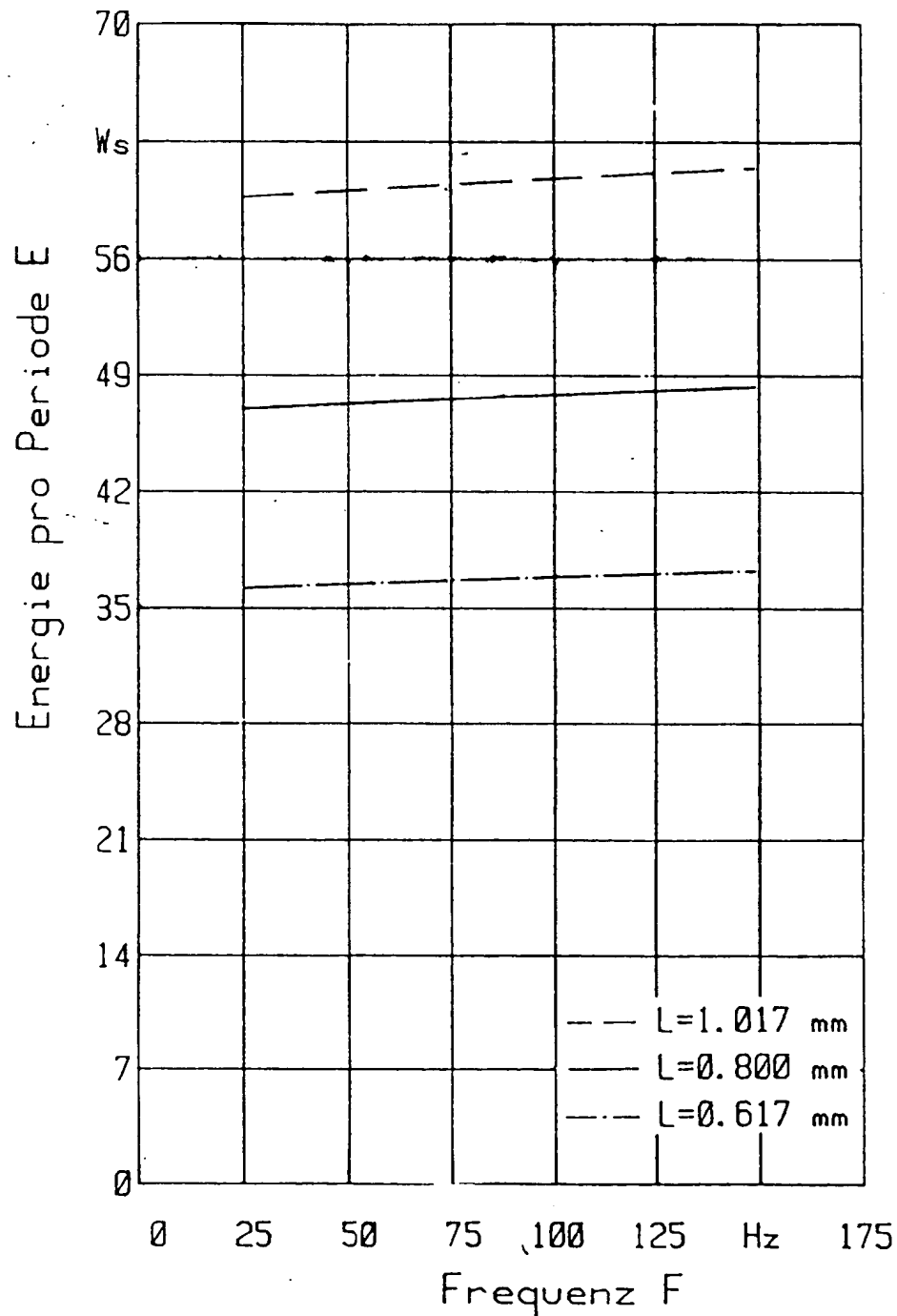
(konstante Parameter: Schutzgas M 11, L = 0,8 mm,

$l_K = 16$  mm, 1-1 Modulation)

Fig. 3

3742402

32



Erforderliche Gesamtenergie in Abhängigkeit der abgeschmolzenen Drahtlänge pro Periode für einen Werkstoffübergang mit 1 Tropfen pro Puls

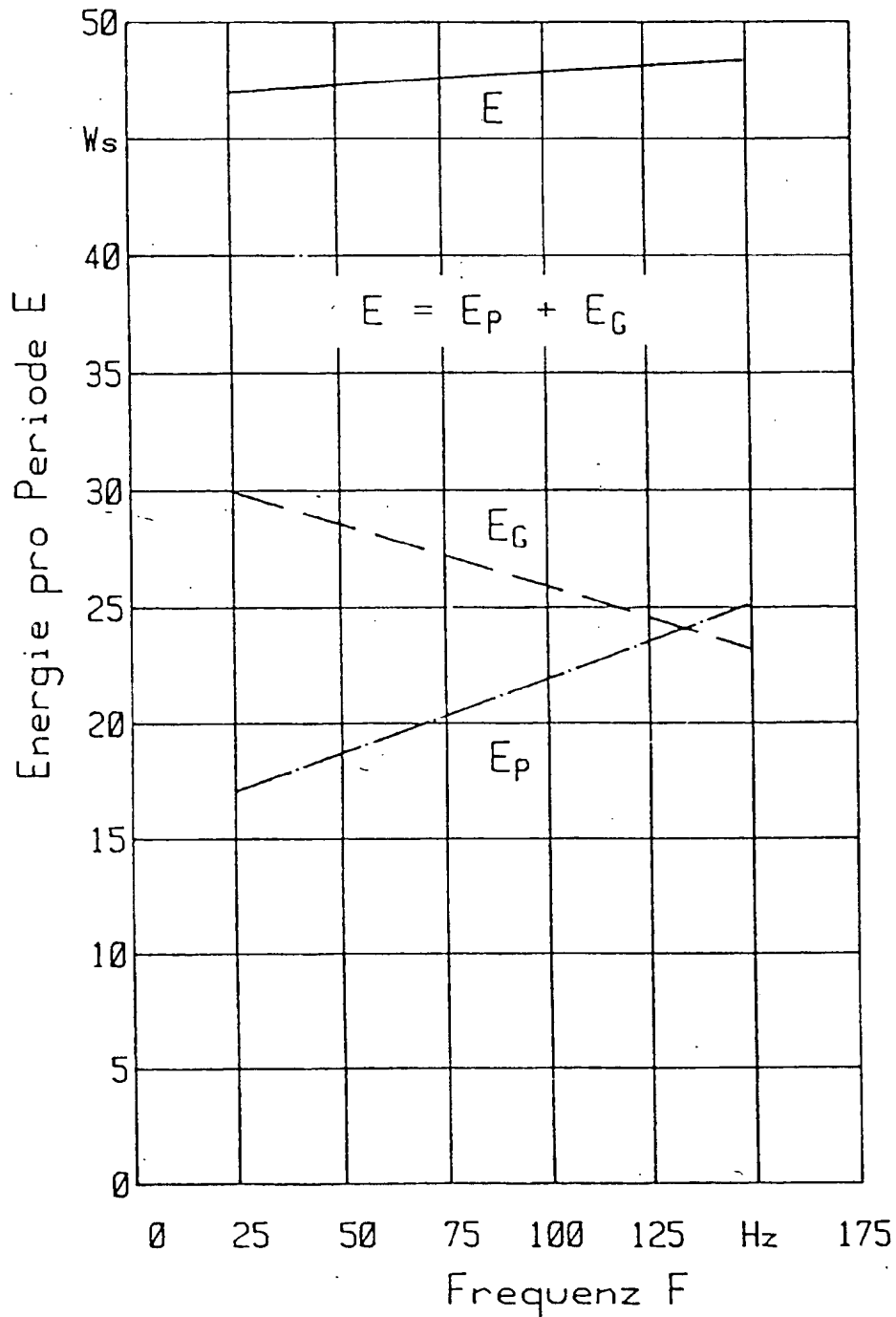
(konstante Parameter: Schutzgas M 11,  $t_p = 2$  ms,

$l_K = 16$  mm)

Fig. 4

3742402

33



Energieeinbringung in der Puls- und Grundphase in Abhängigkeit der Impulsfrequenz für einen 1 Tropfen-pro-Puls-Werkstoffübergang

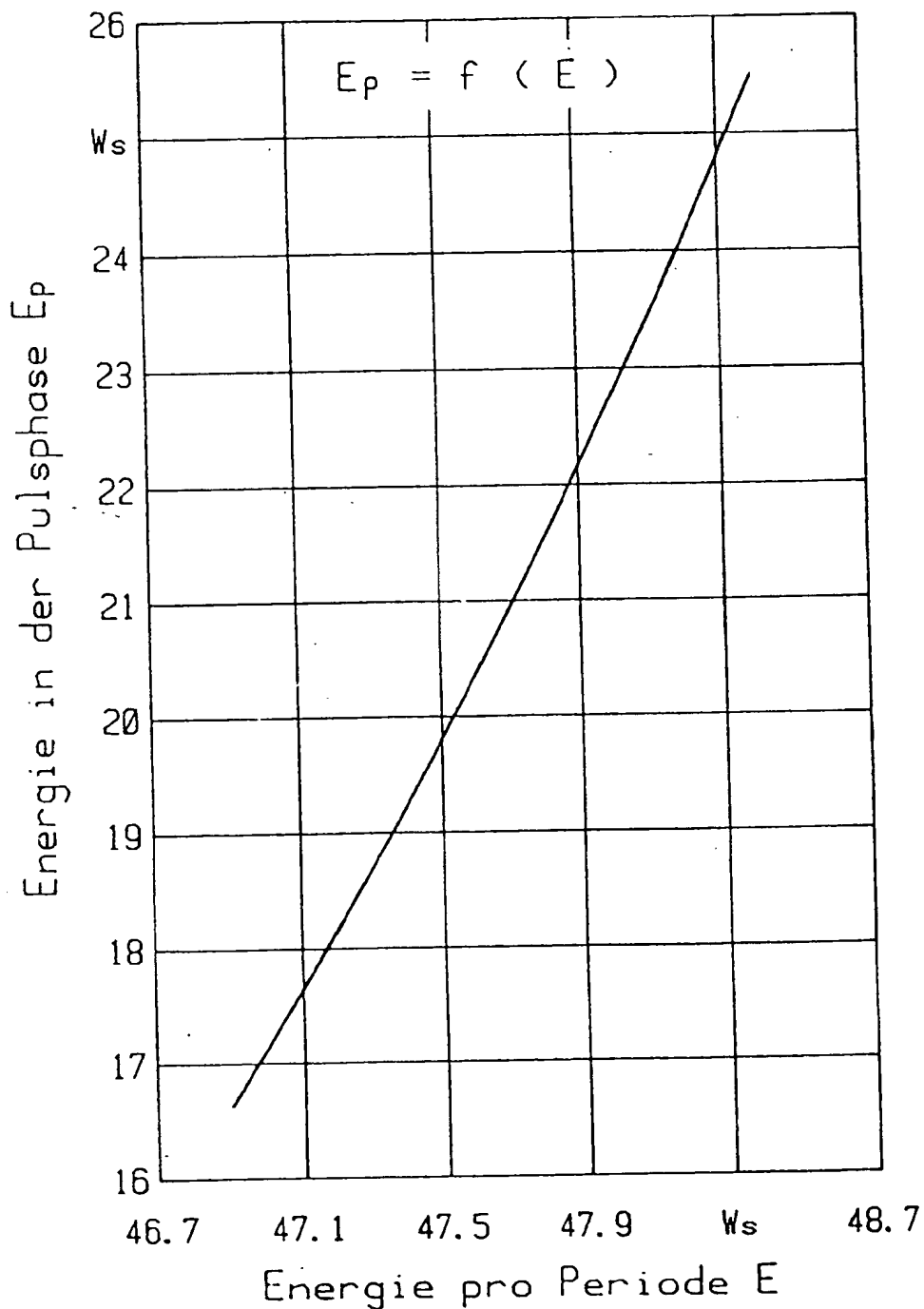
(konstante Parameter: Schutzgas M 11,  $t_p = 2$  ms,

$l_K = 16$  mm,  $L = 0,8$  mm)

Fig. 5

3742402

34



Abhängigkeit der in der Pulsphase erforderlichen Energie von der Gesamtenergie pro Periode für einen Werkstoffübergang mit einem Tropfen pro Puls

(konstante Parameter: Schutzgas M 11,  $t_p = 2$  ms,

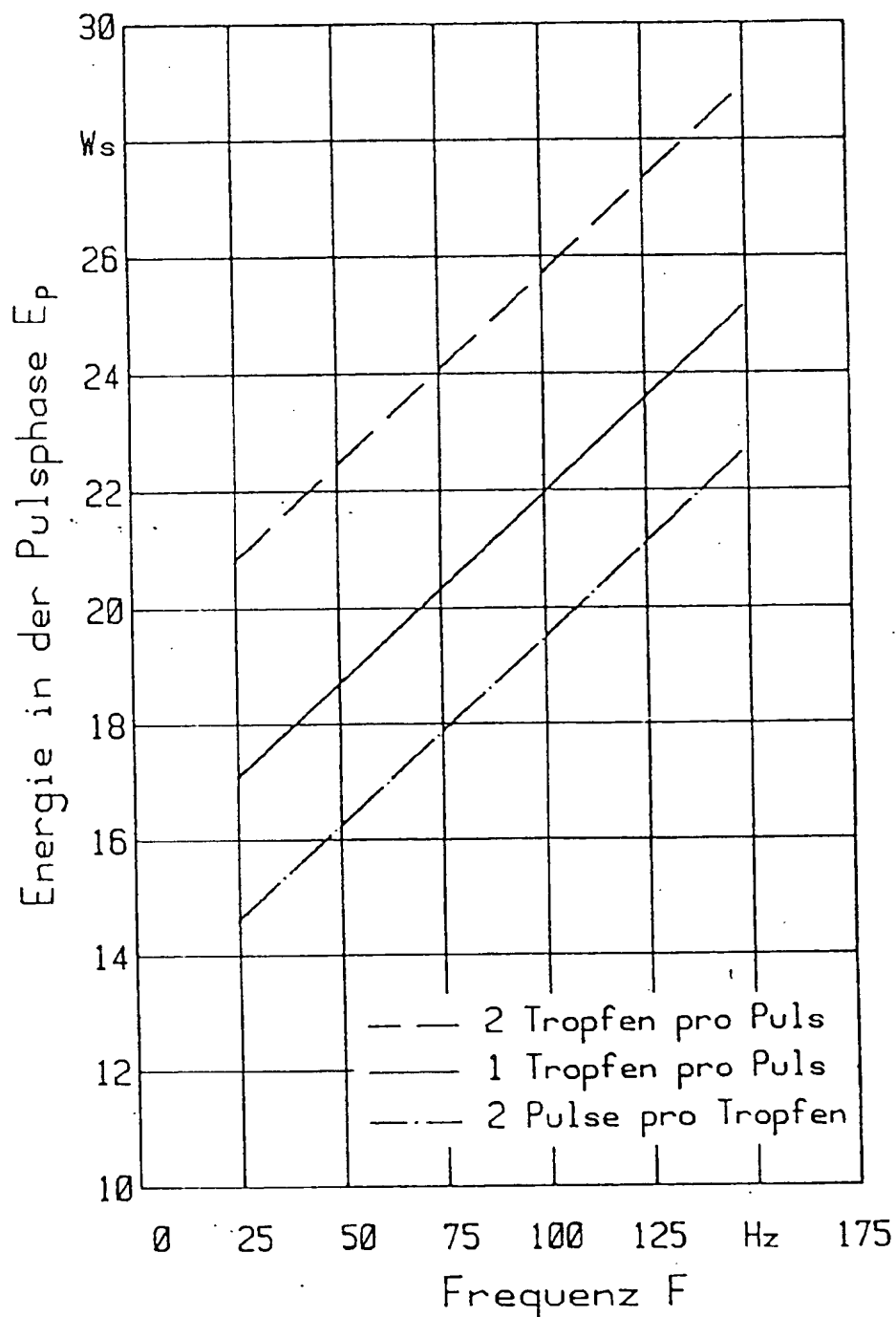
$l_K = 16$  mm,  $L = 0,8$  mm)



Fig. 6

3742402

35

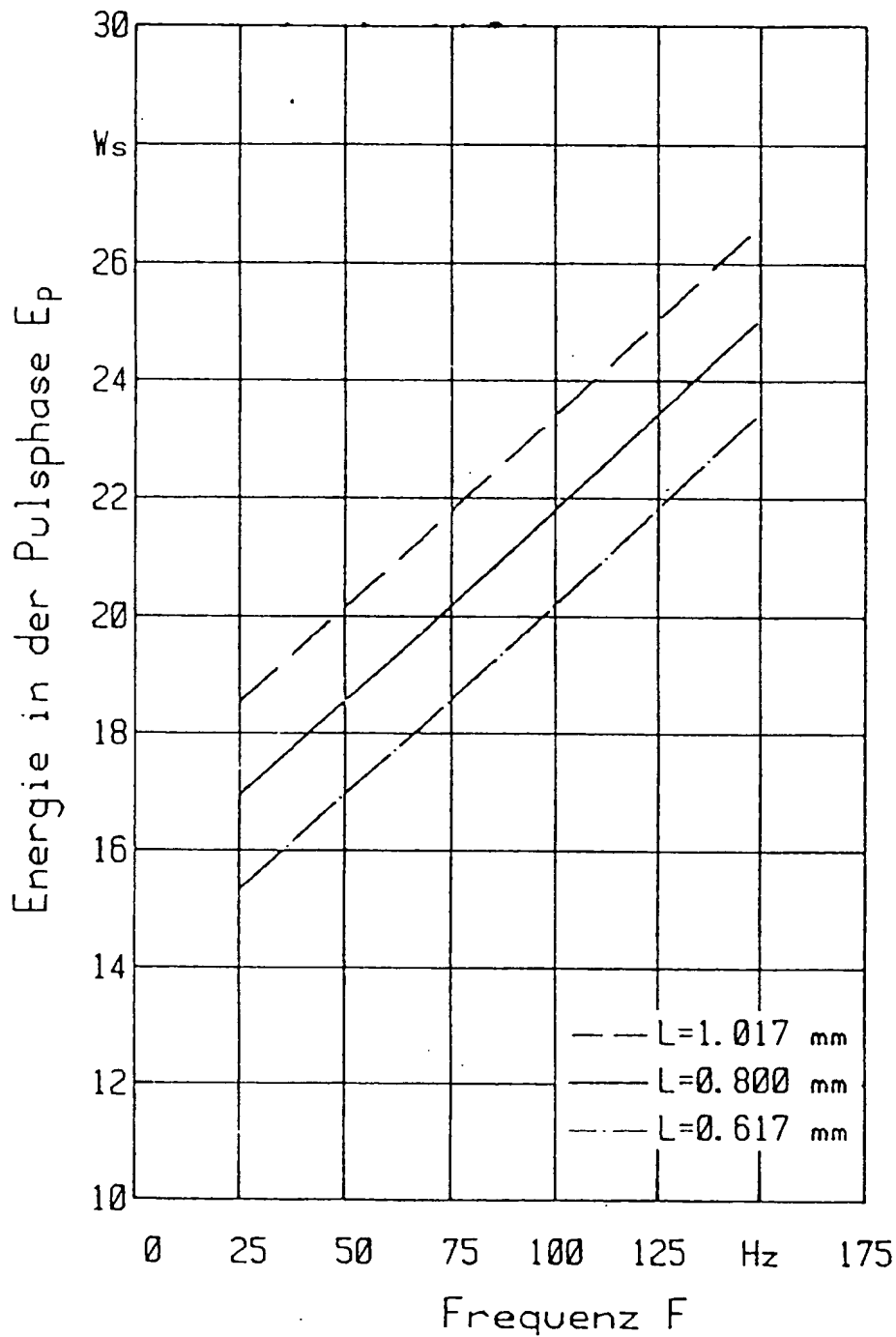


Einfluß der Werkstoffübergangsart auf die in der Pulsphase erforderliche Energie in Abhängigkeit der Impulsfrequenz

(konstante Parameter: Schutzgas M 11,  $t_p = 2$  ms,  
 $l_K = 16$  mm,  $L = 0,8$  mm)

Fig. 7

3742402 36

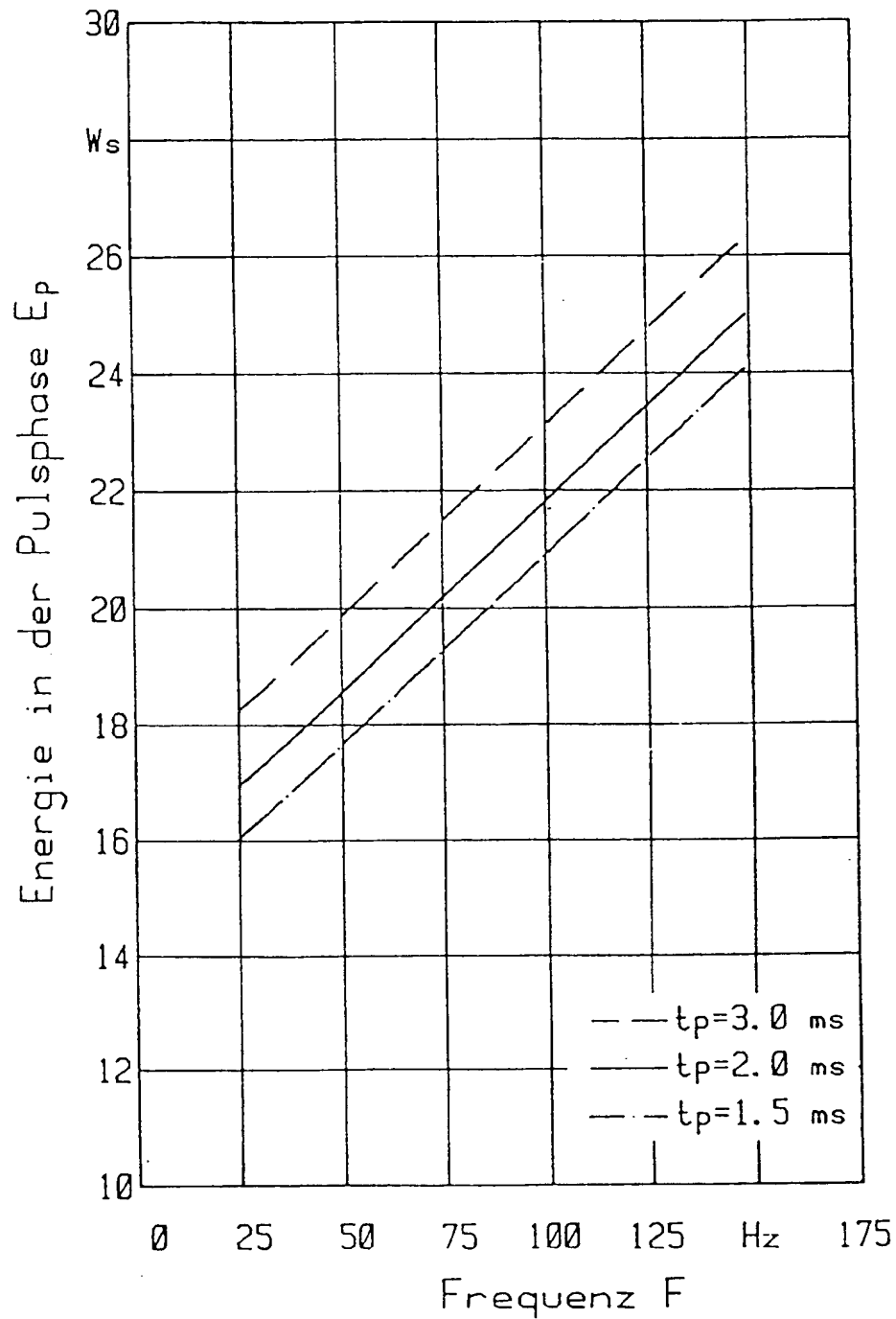


Einfluß der aufzuschmelzenden Drahtlänge pro Periode  
auf die in der Pulsphase erforderliche Energie für einen  
1 Tropfen-pro-Puls-Werkstoffübergang  
(konstante Parameter: Schutzgas M 11,  $t_p = 2$  ms,  
 $l_K = 16$  mm)

Fig. 8

3742402

37



Einfluß der Pulszeit auf die in der Pulsphase erforderliche Energie für einen 1 Tropfen-pro-Puls-Werkstoff-übergang

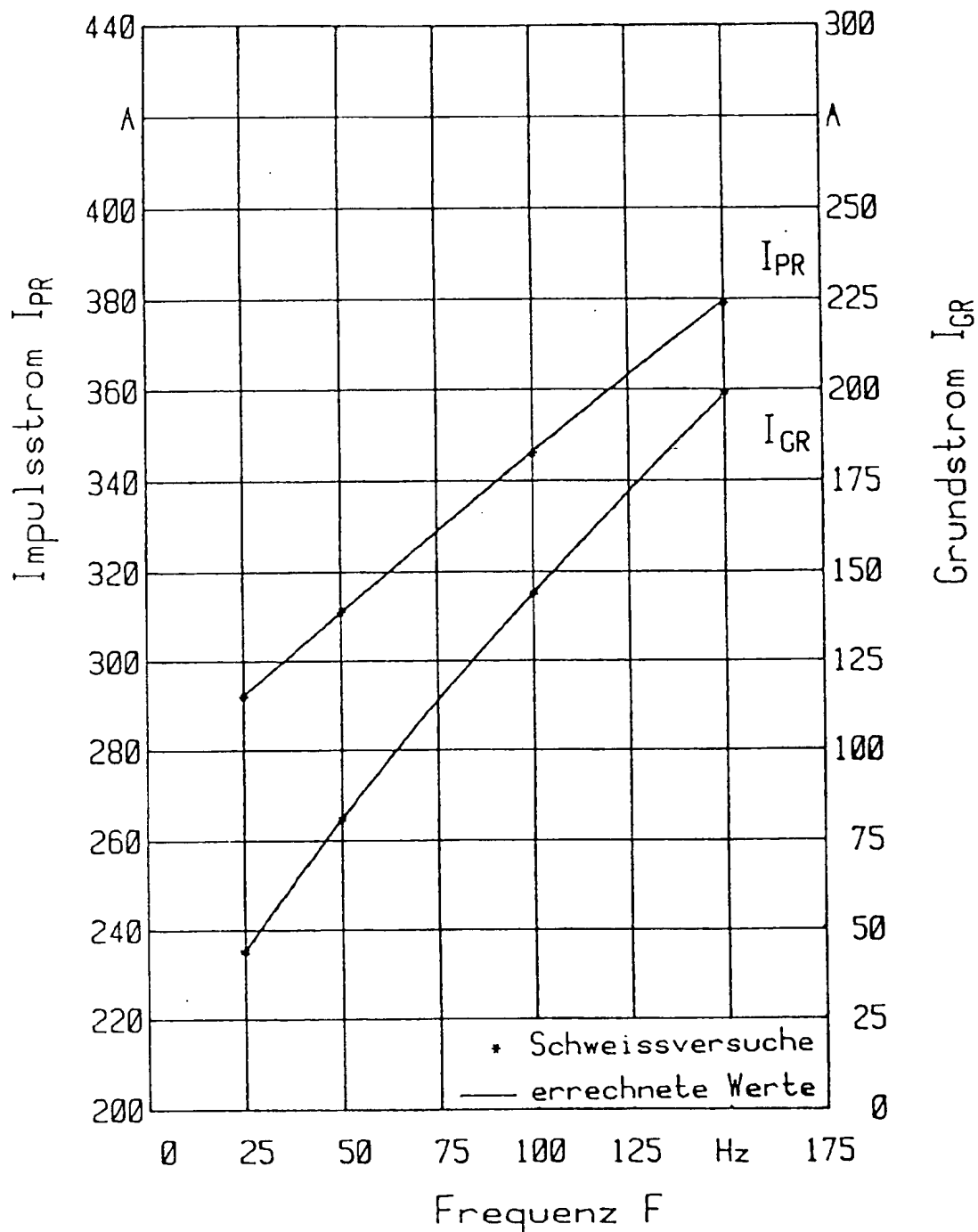
(konstante Parameter: Schutzgas M 11,  $t_p = 2$  ms,

$L = 0,8$  mm,  $l_K = 16$  mm)

Fig. 9

3742402

38



Errechnete und aus Schweißversuchen ermittelte elektrische Parameter für einen Werkstoffübergang mit 1 Tropfen pro Puls

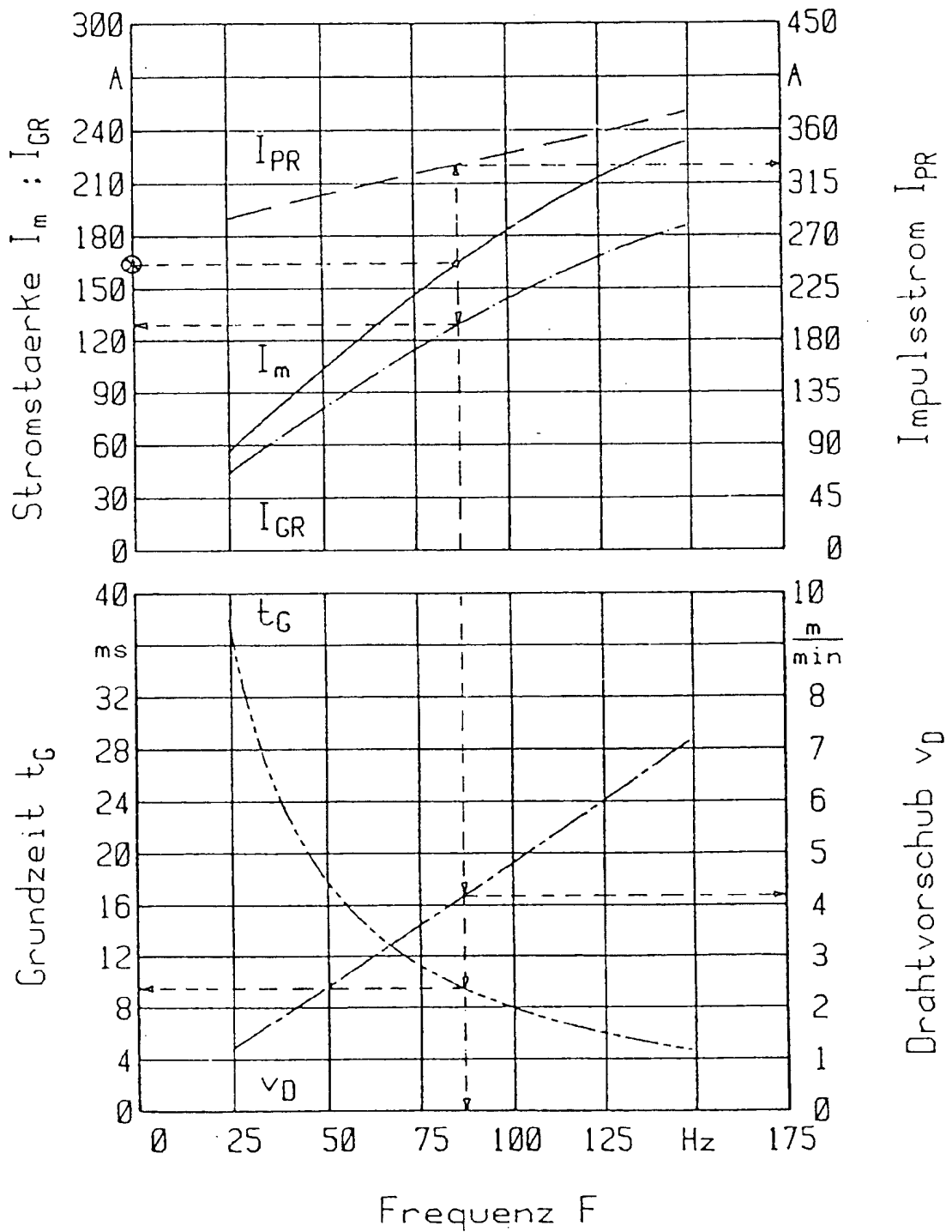
(konstante Parameter: Schutzgas M 11,  $t_p = 2$  ms,

$l_K = 16$  mm,  $L = 0,8$  mm)

Fig. 10

3742402

39

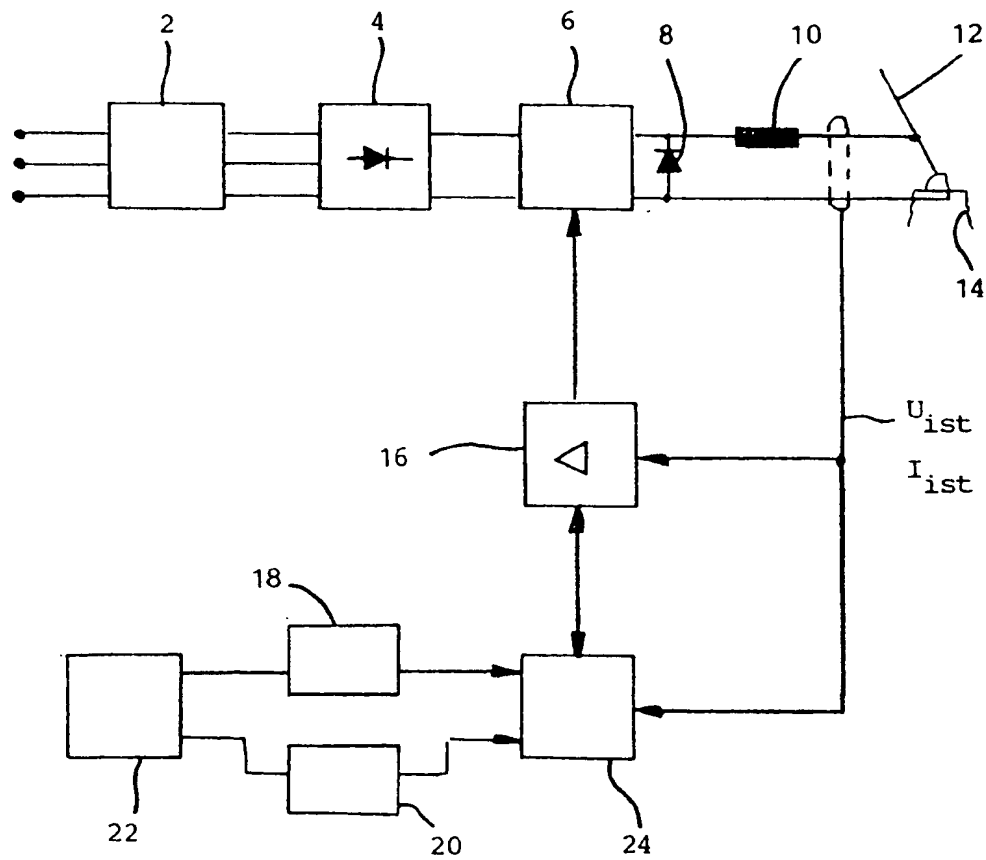


Rechnerisch ermittelte Abhängigkeit der Schweißparameter von der gewünschten Schweißleistung für einen 1 Tropfen-pro-Puls-Werkstoffübergang  
(konstante Parameter: Schutzgas M 11,  $t_P = 2$  ms,  
 $l_K = 16$  mm,  $L = 0,8$  mm)

3742402

40\*

Fig. 11



3742402

Fig. 1

Nummer:  
Int. Cl. 4:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

37 42 002  
B 23 K 9/82  
15. Dezember 1987  
8. Juli 1989

30

Schweißdaten:

Nr.	F Hz	U <sub>PR</sub> V	U <sub>GR</sub> V	I <sub>PR</sub> A	I <sub>GR</sub> A	t <sub>P</sub> ms	v <sub>D</sub> m/min	l <sub>K</sub> mm	l <sub>D</sub> mm	l <sub>L</sub> mm
1	100	31,7	22,5	346	144	2,0	4,8	16	11,9	4,1
2	100	32,5	24,6	362	189	2,0	6,1	16	12,0	4,0
3	100	33,5	21,9	383	128	2,0	4,8	16	12,1	3,9
4	100	34,5	22,4	407	141	1,5	4,8	16	12,0	4,0
5	25	29,2	17,9	292	44	2,0	1,2	16	11,3	4,3
6	50	30,1	19,6	311	81	2,0	2,4	16	12,1	3,9
7	150	33,2	24,9	379	199	2,0	7,2	16	11,8	4,2

Errechnete Größen:

Nr.	L	R <sub>D</sub>	E <sub>PD</sub>	E <sub>GD</sub>	E <sub>D</sub>	E <sub>P</sub>	E <sub>G</sub>	E	K	A	B
	mm	m Ω	Ws	Ws	Ws	Ws	Ws	Ws	J/mm	V	V/A
1	0,8	9,29	2,22	1,54	3,76	21,94	25,92	47,86	59,83	15,96	0,0453
2	1,017	9,37	2,48	2,63	5,14	23,53	37,2	60,73	59,71	15,96	0,0457
3	0,8	9,45	2,77	1,24	4,01	25,56	22,32	47,98	59,96	15,92	0,0459
4	0,8	9,37	2,94	1,58	3,92	21,06	26,95	47,91	59,89	15,98	0,0455
5	0,8	9,22	1,57	0,65	2,25	17,05	29,93	46,99	58,73	15,83	0,0456
6	0,8	9,45	1,82	1,12	2,94	18,72	28,58	47,3	59,13	15,89	0,0457
7	0,8	9,22	2,65	1,71	4,36	25,17	23,18	48,35	60,64	15,73	0,0461

mit:

$$\begin{aligned}
 R_D &= 7,61 \cdot 10^{-4} \cdot l_D \\
 E_{PD} &= I_{PR}^2 \cdot R_D \cdot t_P \\
 E_{GD} &= I_{GR}^2 \cdot R_D \cdot t_G \\
 E_D &= E_{PD} + E_{GD} \\
 E &= E_D + E_L
 \end{aligned}$$

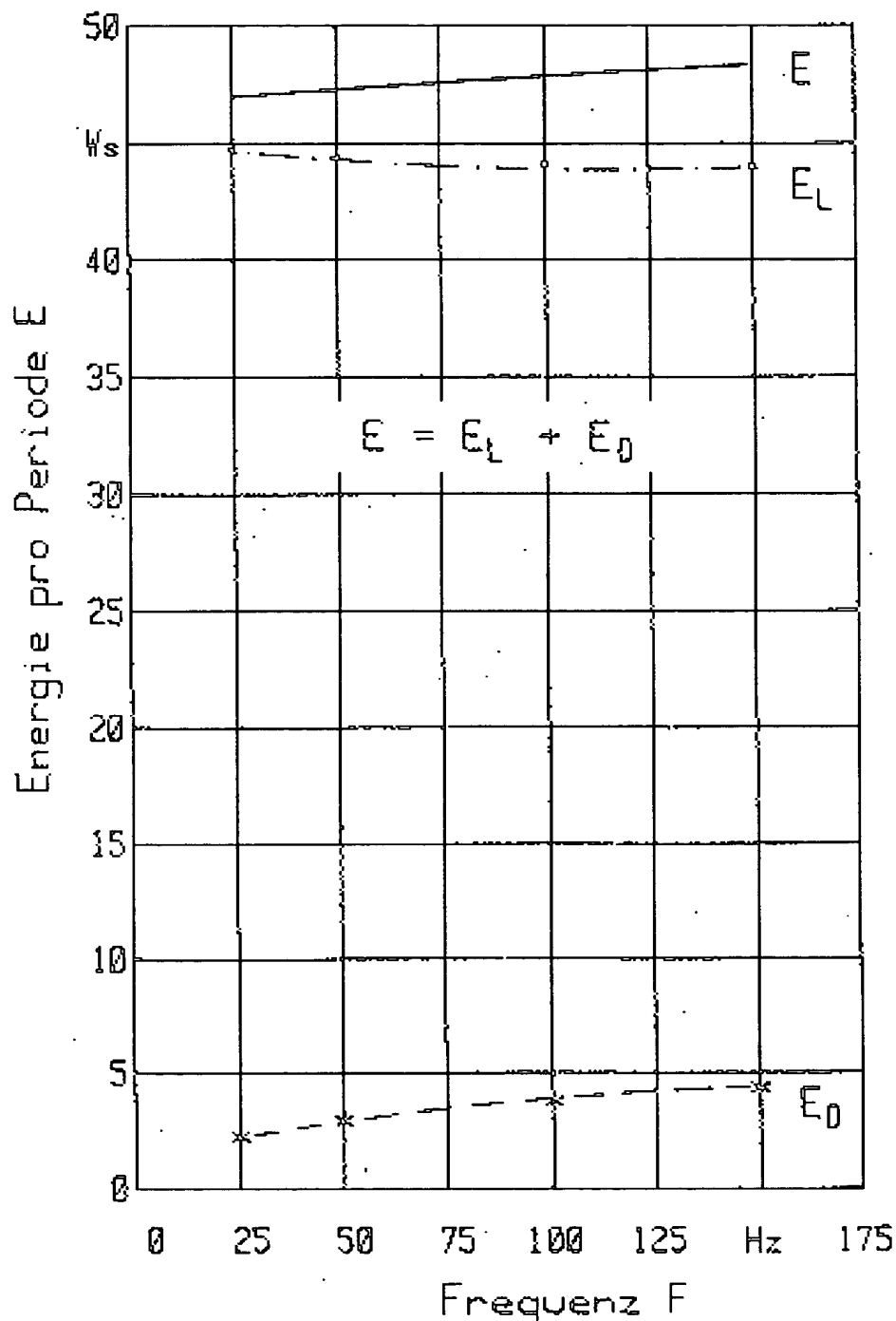
$$\begin{aligned}
 E_P &= U_{PR} \cdot I_{PR} \cdot t_P \\
 E_G &= U_{GR} \cdot I_{GR} \cdot t_G \\
 E &= E_P + E_G \\
 K &= E/L \\
 L &= v_D / f
 \end{aligned}$$

Betrachtung der Energieeinbringung beim Impulslichtbogenschweißen mit  
einem 1 Tropfen-pro-Puls-Werkstoffübergang  
(konstante Parameter: Schutzgas M 11, l<sub>K</sub> = 16 mm, 1-! Modulation)

Fig. 2

3742402

3A



im Lichtbogen und freien Drahtende umgesetzte elektrische Energie pro Periode in Abhängigkeit der Impulsfrequenz für einen Werkstoffübergang mit 1 Tropfen-pro-Puls

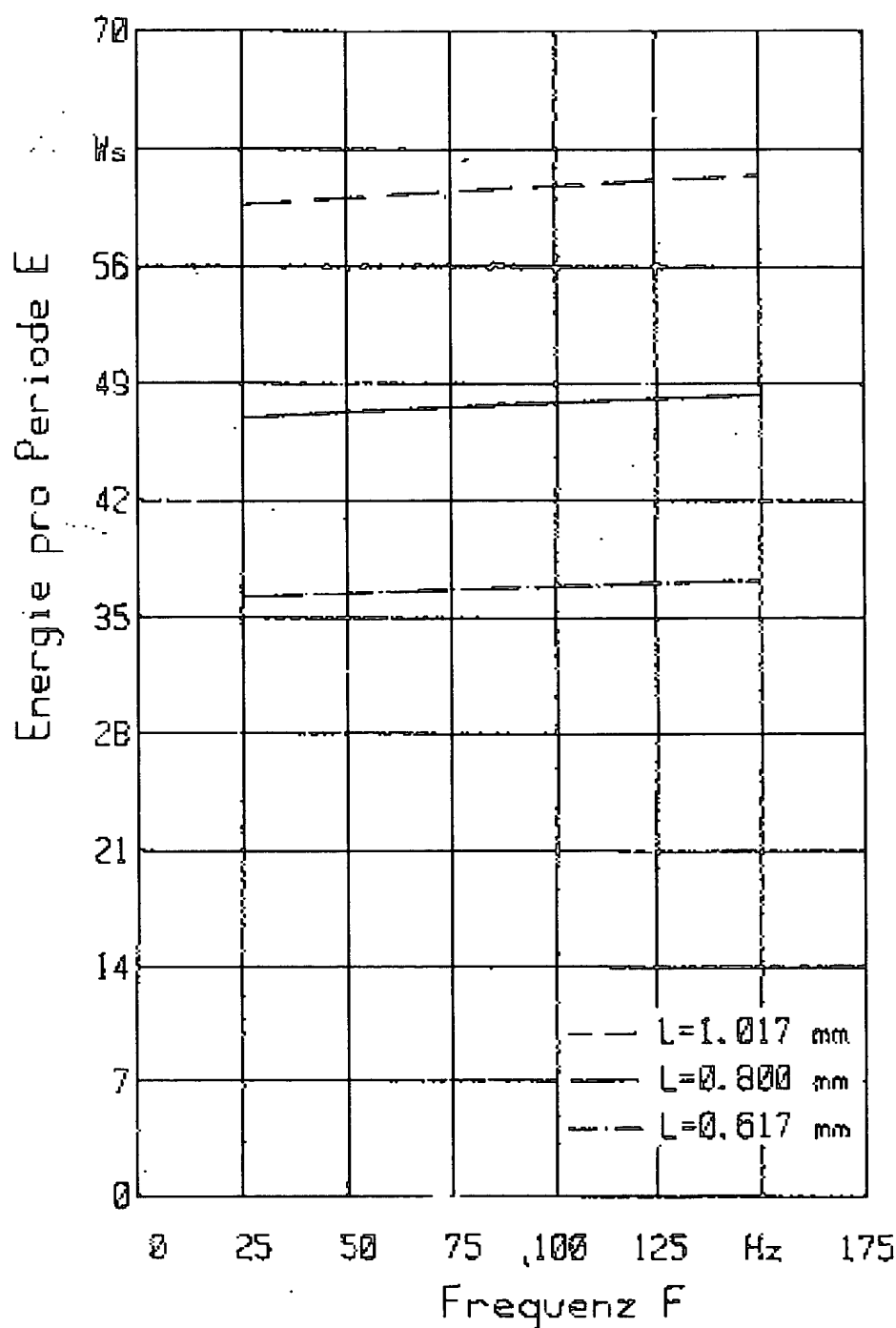
(konstante Parameter: Schutzgas M 11,  $L = 0,8$  mm,  $l_K = 16$  mm, 1-i Modulation)



Fig. 3

3742402

32



Erforderliche Gesamtenergie in Abhängigkeit der abgeschmolzenen Drahtlänge pro Periode für einen Werkstoffübergang mit 1 Tropfen pro Puls

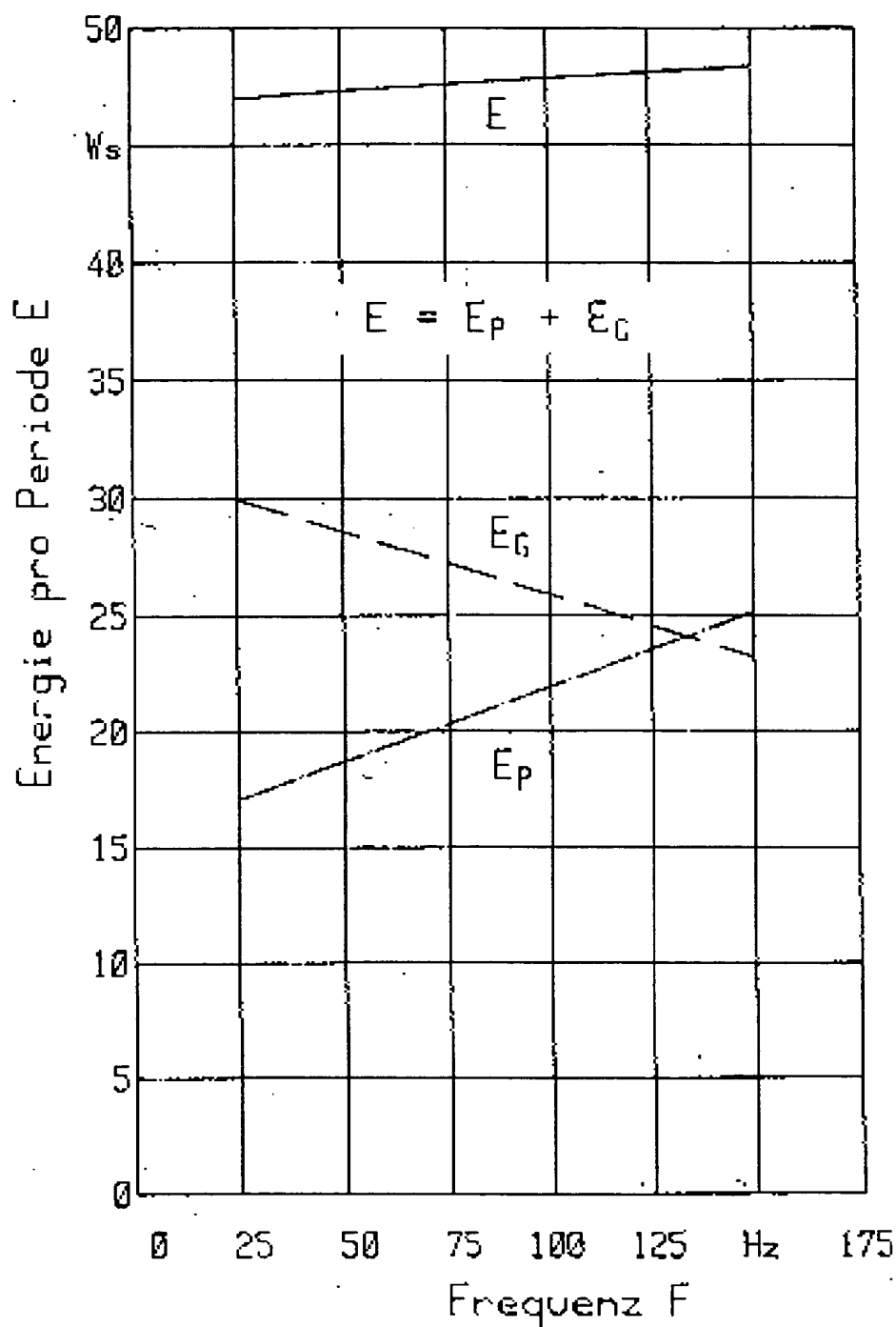
(konstante Parameter: Schutzgas  $\text{Ar}$ ,  $t_p = 2 \text{ ms}$ ,

$l_K = 10 \text{ mm}$ )

Fig. 4

3742402

33



Energieeinbringung in der Puls- und Grundphase in Abhängigkeit der Impulsfrequenz (für einen 1 Tropfen-pro-Puls-Werkstoffübergang)

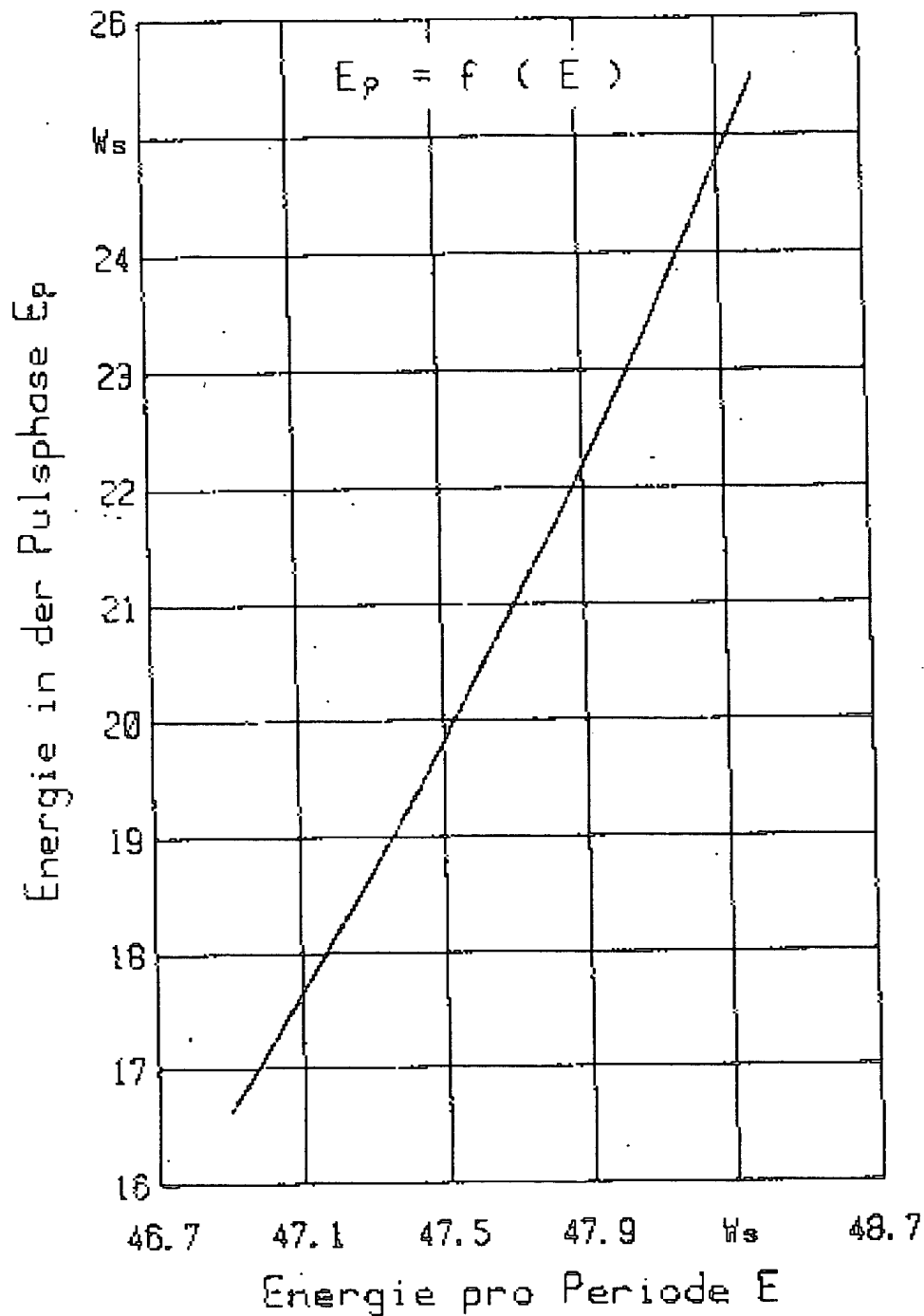
(konstante Parameter: Schutzgas M 11,  $t_p = 2$  ms,

$l_K = 10$  mm,  $L = 0,8$  mm)

Fig. 5

3742402

34



Abhängigkeit der in der Pulsphase erforderlichen Energie von der Gesamtenergie pro Periode für einen Werkstoff-Übergang mit einem Tropfen pro Puls

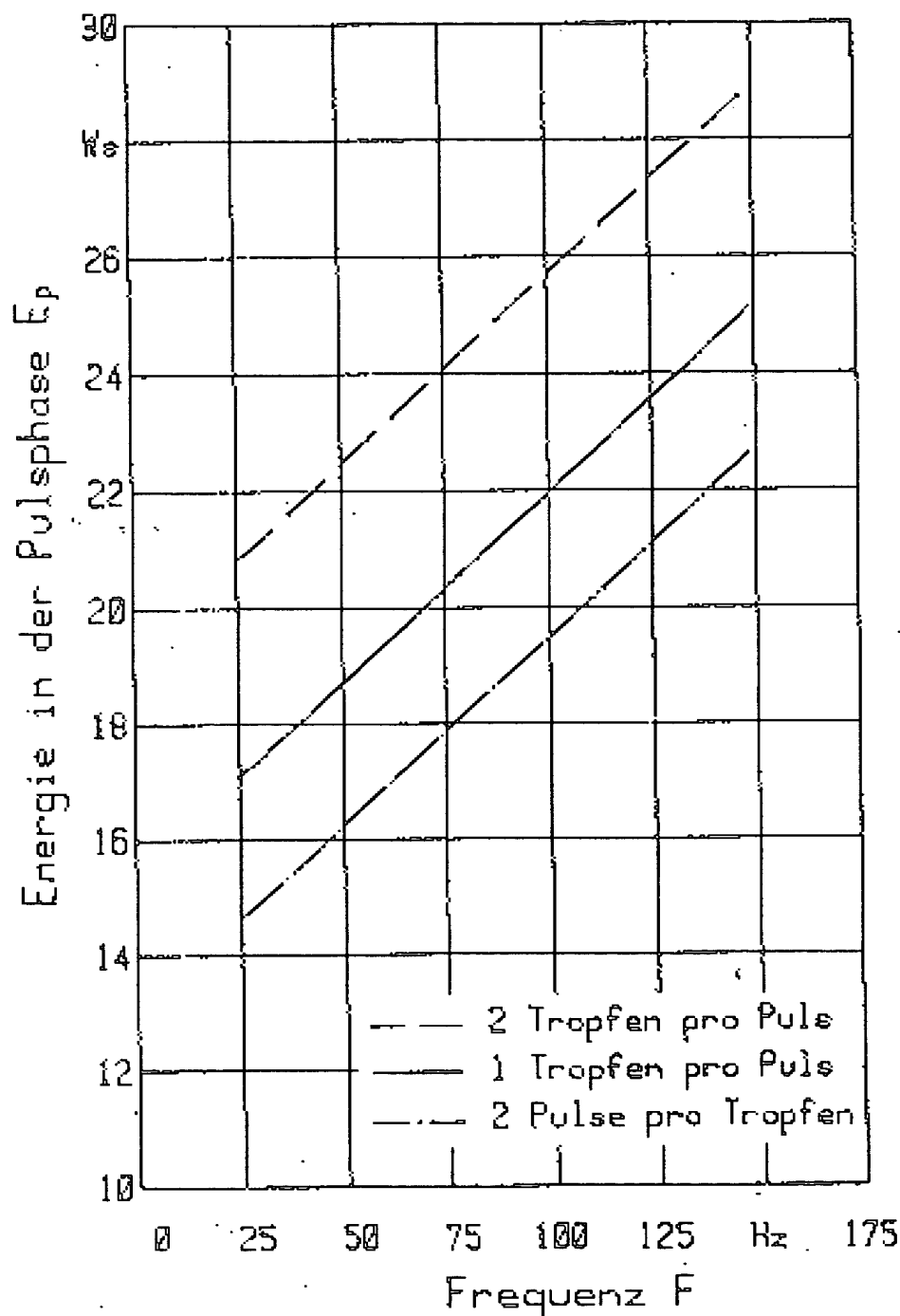
(konstante Parameter: Schutzgas M 11,  $t_p = 2$  ms,  $s_K = 16$  mm,  $L = 0.8$  mm)

Fig. 6

3742402

No. 135

35



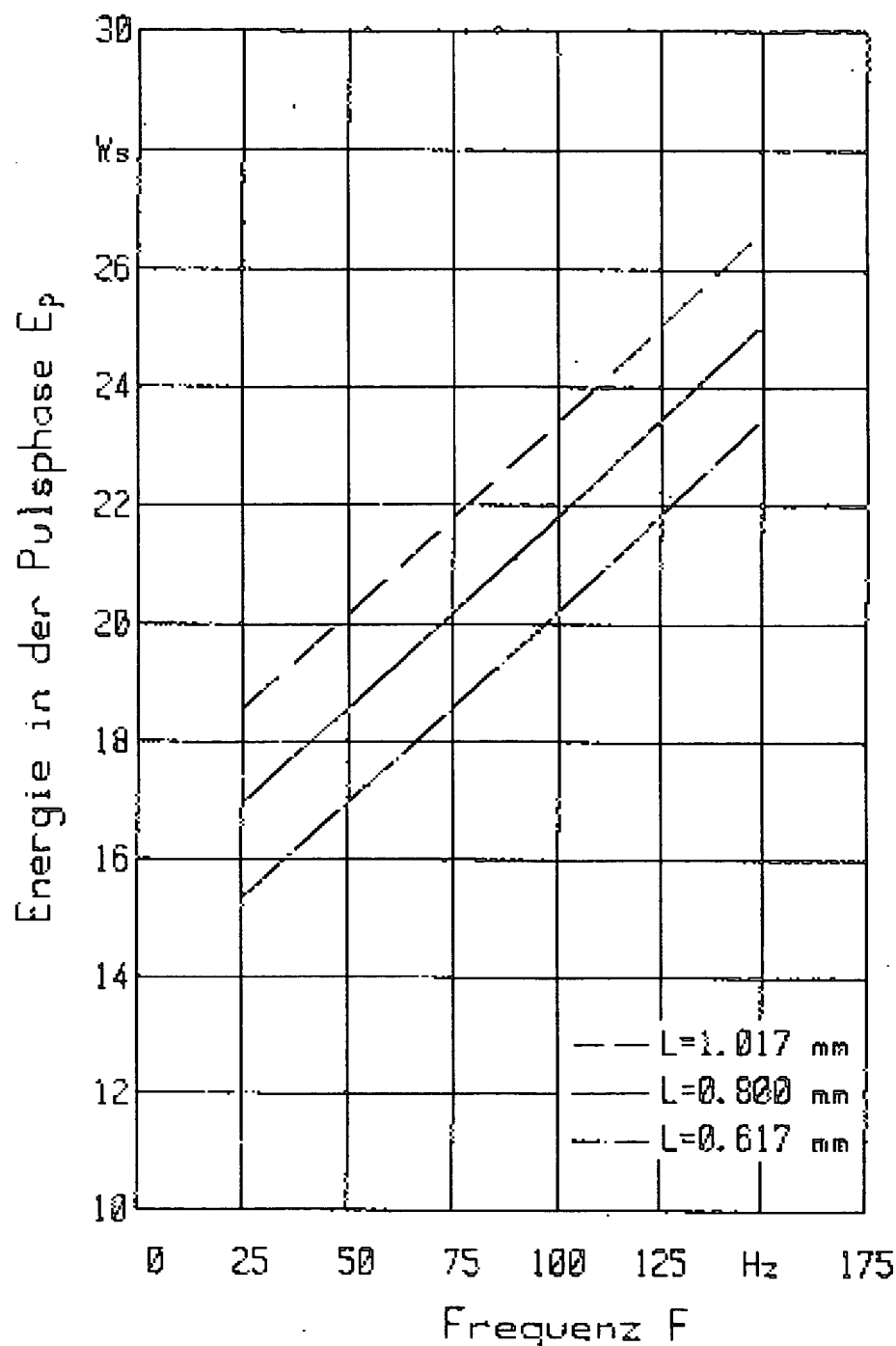
Einfluß der Werkstoffübergangsart auf die in der Pulsphase erforderliche Energie in Abhängigkeit der Impulsfrequenz

(konstante Parameter: Schutzgas M 11,  $t_p = 2$  ms,  
 $l_K = 16$  mm,  $L = 0,8$  mm)

Fig. 7

3742402

36

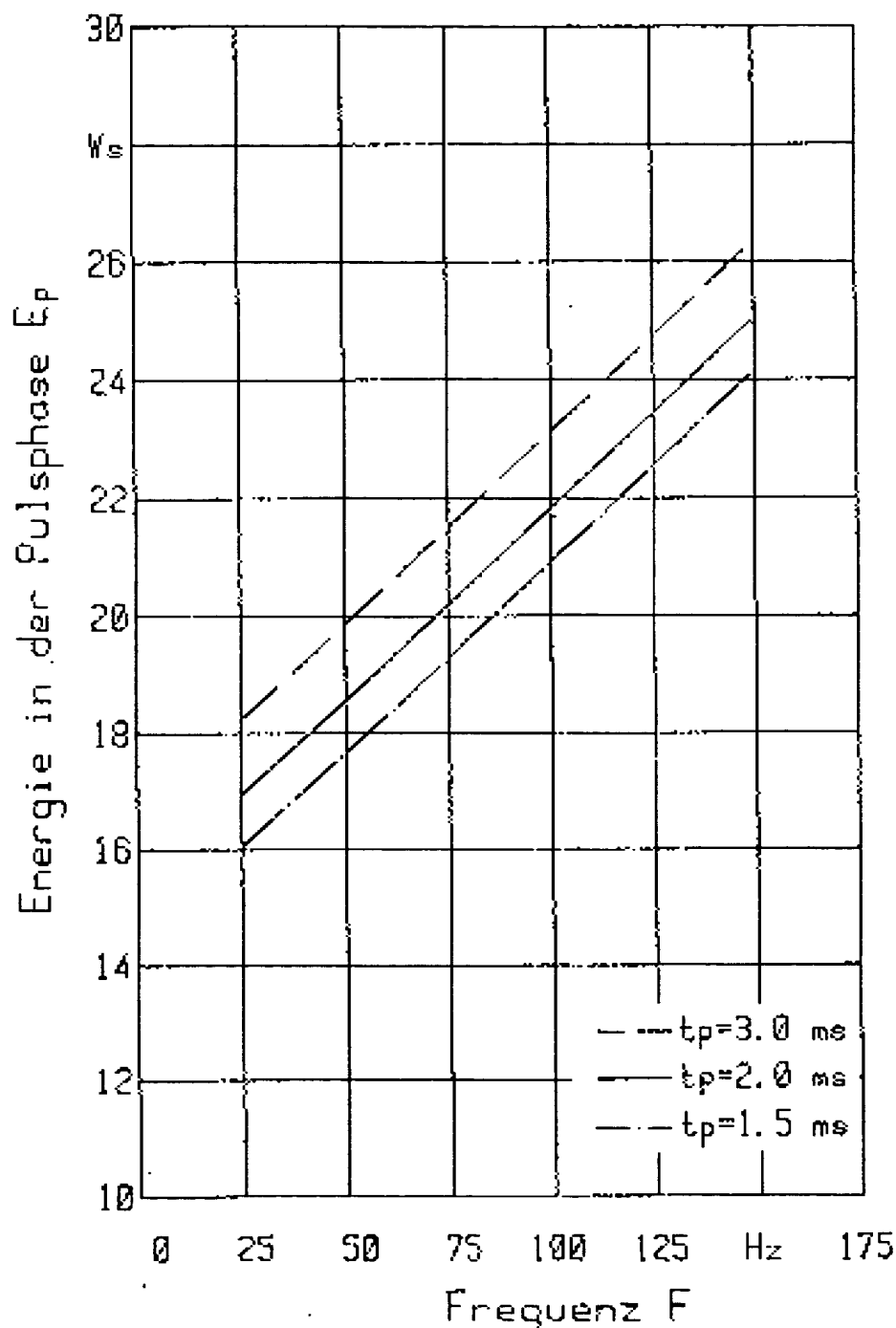


Einfluß der aufzuschmelzenden Drahtlänge pro Periode  
 auf die in der Pulsphase erforderliche Energie für einen  
 1 Tropfen-pro-Puls-Werkstoffübergang  
 (konstante Parameter: Schutzgas M 12,  $t_p = 2$  ms,  
 $l_K = 16$  mm)

Fig. 8

3742402

37



Einfluß der Pulszeit auf die in der Pulsphase erforderliche Energie für einen 1 Tropfen-pro-Puls-Werkstoff-Übergang

(konstante Parameter: Schutzgas M 11,  $t_p = 2 \text{ ms}$ ,

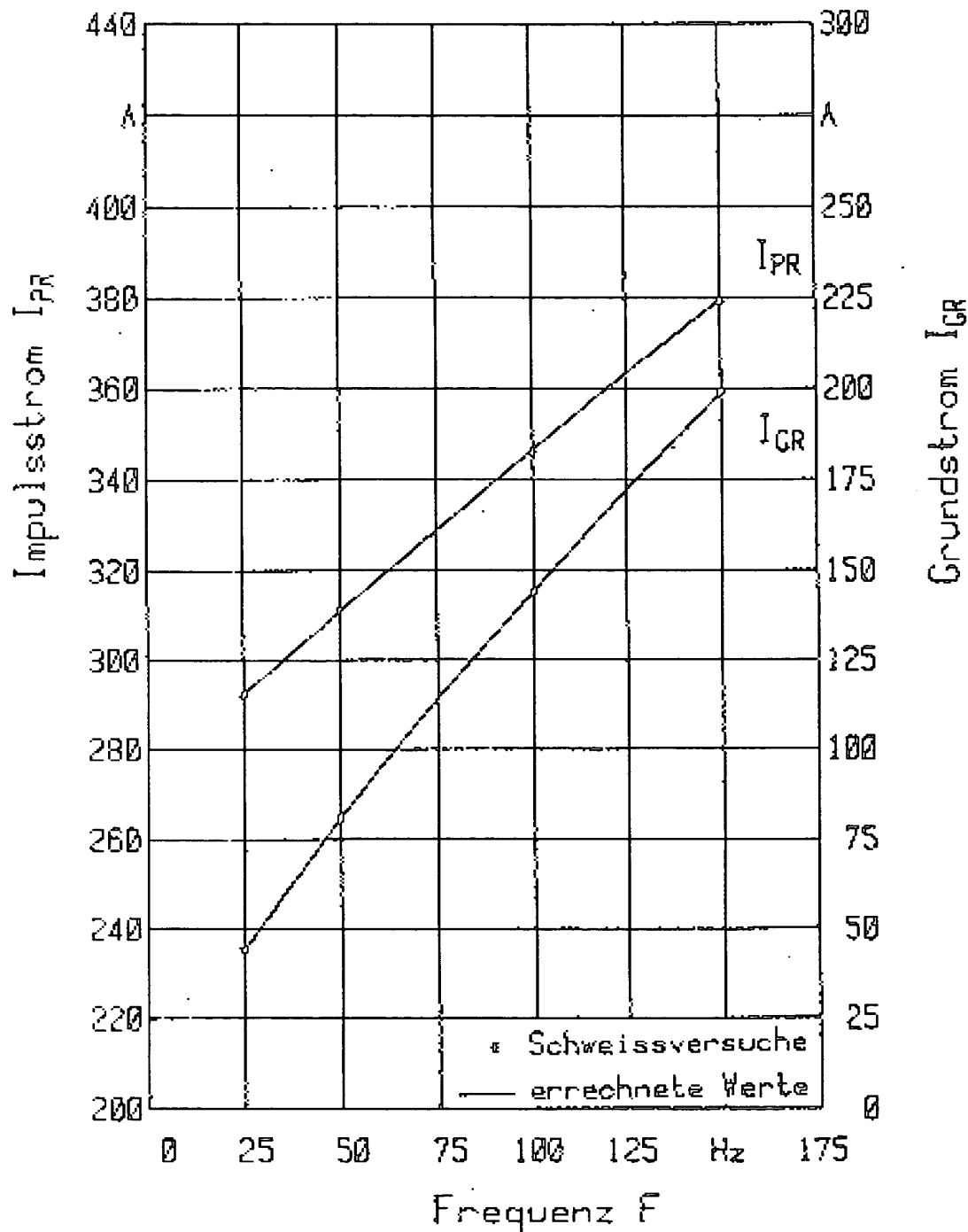
$l = 0.8 \text{ mm}$ ,  $l_K = 16 \text{ mm}$ )

Fig. 9

3742402

38 T

38



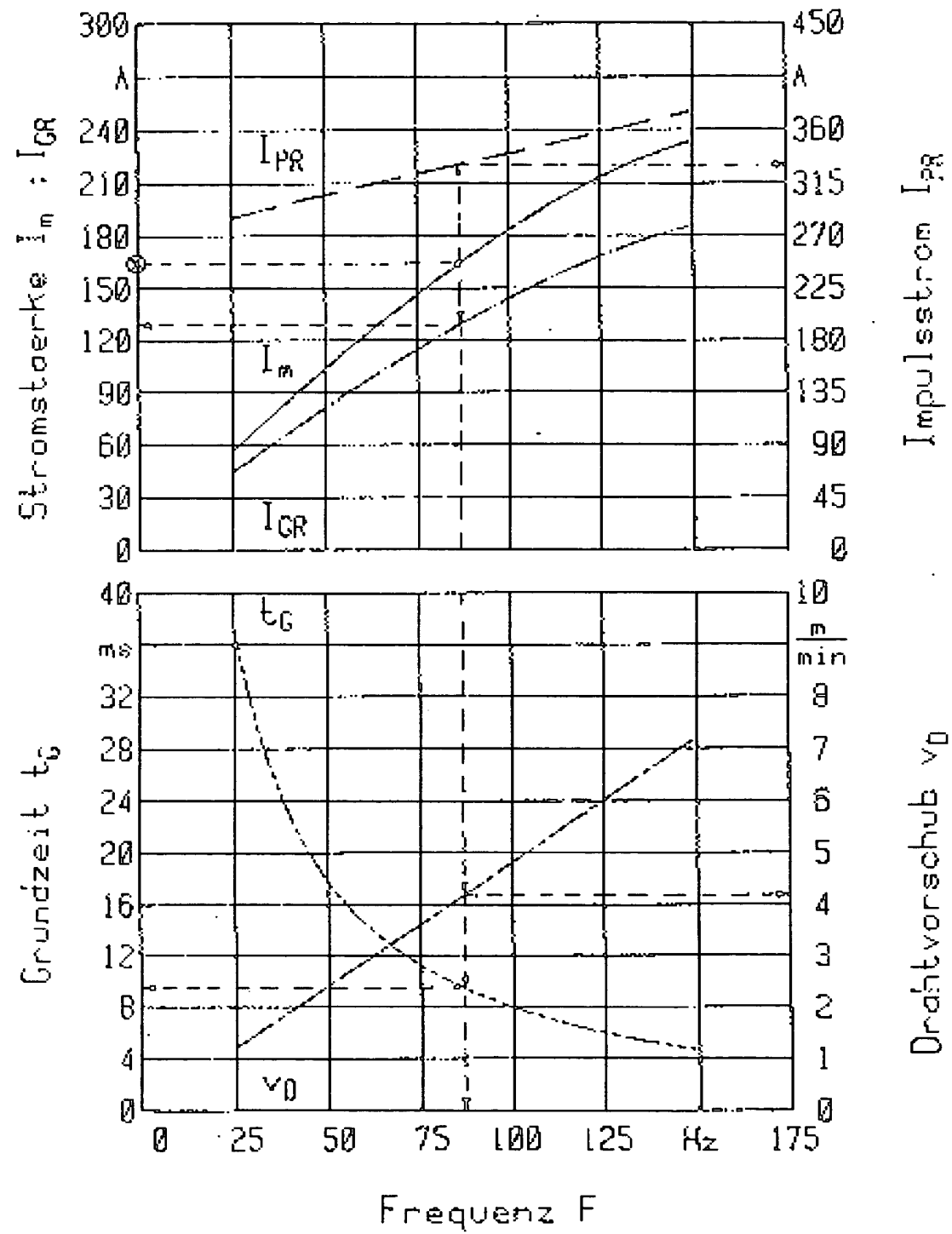
Errechnete und aus Schweissversuchen ermittelte elektrische Parameter für einen Werkstoffübergang mit 1 Tropfen pro Puls

(konstante Parameter: Schutzgas M 11,  $t_p = 2$  ms,  
 $l_K = 16$  mm,  $l = 0,8$  mm)

39

Fig. 10

3742402



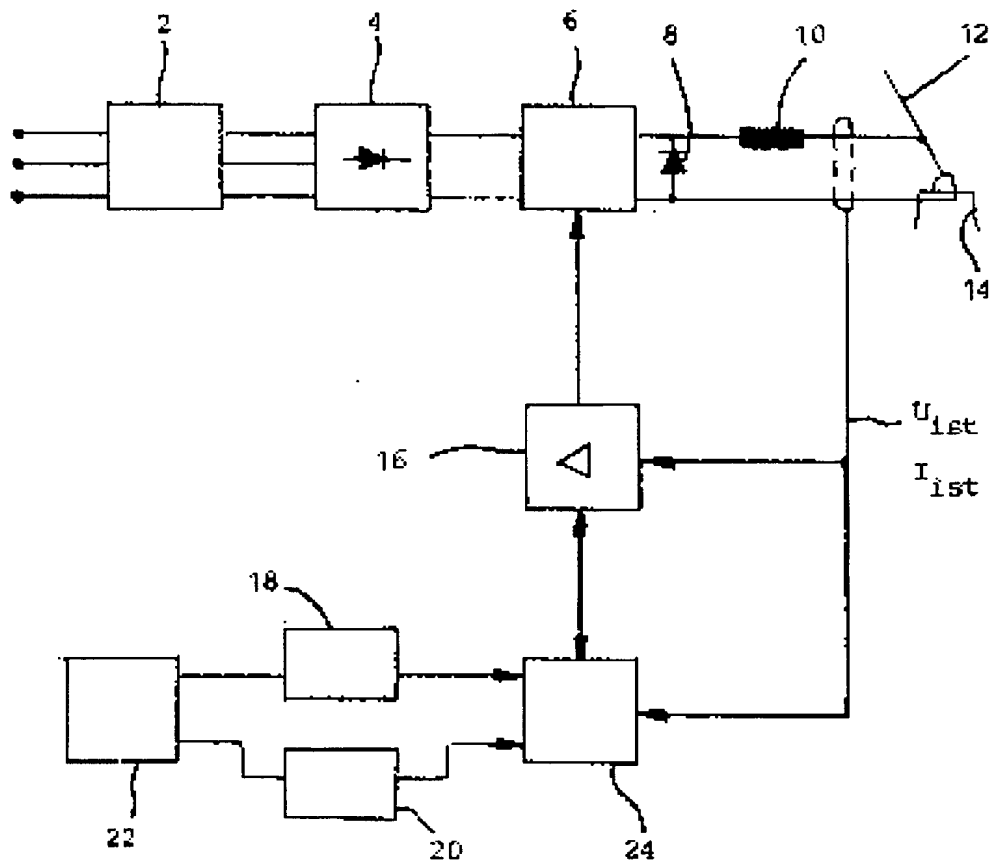
Rechnerisch ermittelte Abhängigkeit der Schweißparameter von der gewünschten Schweißleistung für einen 1 Tropfen-pro-Puls-Workstoffübergang  
(konstante Parameter: Schutzgas M 11,  $t_p = 2$  ms,  $d_K = 16$  mm,  $L = 0,8$  mm)



3742402

40\*

Fig. 11



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**